



**CHALMERS**

# **Energieffektivisering av äldre kommersiell fastighet**

Med ett livscykelkostnadsperspektiv utifrån olika energistrategier

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik

LISA HELLSTRÖM  
NILS STEIJER

**INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK  
AVDELNINGEN FÖR INSTALLATIONSTEKNIK**

---

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2023  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



EXAMENSARBETE ACEX20

# Energieffektivisering av äldre kommersiell fastighet

## Med ett livscykelkostnadsperspektiv utifrån olika energistrategier

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*

*Samhällsbyggnadsteknik*

Lisa Hellström

Nils Steijer

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för installationsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2023

Energieffektivisering av äldre kommersiell fastighet  
Med ett livscykelkostnadsperspektiv utifrån olika energistrategier  
*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*  
*Samhällsbyggnadsteknik*  
Lisa Hellström  
Nils Steijer

© LISA HELLSTRÖM, NILS STEIJER 2023

Examensarbete ACEX20-23  
Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik  
Chalmers tekniska högskola 2023

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik  
Avdelningen för installationsteknik  
Chalmers tekniska högskola  
412 96 Göteborg  
Telefon: 031-772 10 00

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik  
Göteborg 2023

Energieffektivisering av äldre kommersiell fastighet

Med ett livscykelkostnadsperspektiv utifrån olika energistrategier

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet  
Samhällsbyggnadsteknik*

Lisa Hellström

Nils Steijer

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för installationsteknik

Chalmers tekniska högskola

## **SAMMANFATTNING**

Samhället står idag inför stora utmaningar vad gäller tillgången till energi vilket har orsakat höjda energipriser. I och med detta har intresset för energieffektivisering ökat, både för företag och privatpersoner. Tidigare har energieffektiviseringsfrågan främst varit aktuell vad gäller miljöpåverkan men har idag även blivit en ekonomisk fråga. På grund av kommersiella fastigheters stora energibehov blir energieffektivisering extra viktigt för dessa byggnader.

Syftet med detta arbete är att undersöka effekten av olika energiåtgärder i en kommersiell fastighet. Arbetet syftar även till att hitta ett åtgärds paket som har hög potential att minska driftskostnaden i fastigheten.

För att uppnå detta har simuleringar med olika förutsättningar utförts i programmet IDA ICE 4.8. Ur simuleringarna som motsvarar ett år hämtades värme- och kylbehov samt energianvändning. Denna data användes sedan till vidare beräkning av energiprestandan för olika åtgärder och energikällor. För att utvärdera de olika åtgärderna användes primärenergital samt driftkostnaden. Olika förbättringar vad gäller energikällor och tekniska lösningar har utvärderats och jämfördes mot byggnadens utgångsläge. För att evaluera lönsamheten av olika tekniska system gjordes livscykelkostnadsanalyser. Vid beräkningar av livscykelkostnad användes nuvärdesmetoden.

Resultatet visar att en kombination av förbättring av klimatskalets värmegenomsläpplighet till det krav som finns i BBR, geoenergi, solceller och solavskärmning ger bäst resultat. Därefter fördes en diskussion kring fördelarna med olika åtgärderna med hänsyn till energistrategier. Beroende på energistrategi är olika åtgärds paket lönsammast. Då energistrategin som valdes fokuserar på minskade driftkostnader samt lönsamhet valdes åtgärds paketet som nämns ovan.

Nyckelord: energieffektivisering, livscykelanalys, energistrategi, geoenergi, solceller, batterilagring, kommersiella byggnader

Energy efficiency improvement of older commercial building

With a life cycle cost perspective based on different energy strategies

*Degree Project in the Engineering Programme  
Civil and Environmental Engineering*

Lisa Hellström

Nils Steijer

Department of Architecture and Civil Engineering  
Division of Building Services Engineering  
Chalmers University of Technology

## **ABSTRACT**

The Swedish society is faced with an energy crisis which has caused increased prices energy prices. With that in mind the interest in energy efficiency has increased, both for private citizens and companies. Earlier energy efficiency was mainly in focus because of the climate impact of inefficient energy usage but during the recent years it has also become an economical issue. Due to commercial buildings large energy demand, making the buildings more energy efficient is of utmost importance.

The purpose of this thesis is to study the effect different energy saving actions have on a commercial building. The aim is an energy strategy with a combination of several energy saving actions to lower the operating cost of the building.

To study this problem several simulations were done in the application IDA ICE 4.8. The simulation had a runtime of a year and output heating-, cooling demand and electric energy usage. The output data was used in further calculations of energy performance of different actions. To evaluate the results primary energy factors and operating costs was calculated. These values were then compared to the building's initial primary energy factor and operating cost. To evaluate the profitability of the different actions a life cycle cost analysis was conducted using the present value method.

The results indicate a combination of improved insulation to the requirements according to BBR, geothermal energy, sun panels and exterior sun shading to yield the best results. A discussion about different energy strategies was held as to evaluate if different combinations would be beneficial with a different energy strategy. Given the energy was chosen as above the combination presented is the most beneficial.

Abstract (skrivs på engelska och bör rymmas på denna sida).

Key words: energy efficiency, life-cycle cost, energy strategy, commercial building, geothermal energy, sun panels

# Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	VI
BETECKNINGAR	VII
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsningar	1
1.4 Frågeställningar	2
1.5 Metod	2
1.6 Litteraturstudie	2
1.7 IDA ICE 4.8	3
2 TEORI	4
2.1 Termisk komfort	4
2.2 Klimatskal	5
2.2.1 U-värden	5
2.2.2 G- och LT-värden	5
2.2.3 Solavskärmning	6
2.3 Tekniska system	7
2.3.1 Värmesystem	7
2.3.2 Kylsystem	7
2.3.3 Ventilationssystem	7
2.3.4 Tappvatten	8
2.4 Energikällor	9
2.4.1 Fjärrvärme och fjärrkyla	9
2.4.2 Geoenergi	10
2.5 Värmeåtervinning	13
2.6 Energi	14
2.6.1 Energistrategier	14
2.7 Solceller	14
2.8 Energilagring	15
2.8.1 Batterier	16
2.9 Primärenergital	16
2.10 Klassificeringar	17
2.10.1 BBR standard	18

2.10.2	Miljöbyggnad	19
2.10.3	LEED	20
2.10.4	BREEAM	20
2.11	Termisk tröghet	21
2.12	Livscykelkostnad	21
3	SIMULERINGAR OCH INDATA	22
3.1	Befintlig byggnad	22
3.1.1	Internlaster och scheman	22
3.2	Förbättring av klimatskal	23
3.3	Värme- och kylsystem	24
3.3.1	Fjärrenergi	24
3.3.2	Geoenergi	24
3.4	Solavskärmning	24
3.5	VAV-system	25
3.6	Effektreducering vid högt elpris	25
3.7	Batterilagring	25
3.8	LCC	26
4	RESULTAT	28
4.1	Simulering klimatskal	28
4.2	Värme- och kylsystem	28
4.2.1	Kostnadskalkyl fjärrvärme och fjärrkyla	29
4.2.2	Kostnadskalkyl Geoenergi	30
4.2.3	Täckningsgrad frikyla	30
4.3	Solavskärmning och VAV	31
4.4	Effektreducering	32
4.5	Solceller	32
4.6	Batterilagring	33
4.7	Livscykelkostnadsberäkningar	34
4.7.1	Känslighetsanalyser	36
5	DISKUSSION	38
5.1	Förbättring av klimatskal	38
5.2	Värme- och kylsystem	38
5.3	Solavskärmning och VAV	39
5.4	Effektreducering	40
5.5	Solceller	40
5.6	Batterilagring	41

5.7	Eventuella felkällor	41
5.8	Ytterligare åtgärder som kan undersökas i andra arbeten	41
6	SLUTSATS	42
7	REFERENSER	43
8	BILAGOR	48

## Förord

Detta examensarbete avslutar vår högskoleingenjörsutbildning inom Samhällsbyggnadsteknik på Chalmers. Arbetet omfattar 15 högskolepoäng och har genomförts under vårterminen 2023. Examensarbetet har genomförts i samarbete med GICON som även presenterade idén till arbetet för oss. Arbetet har genomförts på GICON:s kontor.

Vi vill rikta ett stort tack vår handledare Tobias Antonsson på GICON som varit till hjälp och stöd under hela arbetet. Genom att alltid vara tillgänglig för att svara på våra frågor och funderingar har han gjort arbetet möjligt. Vi är väldigt tacksamma för all hjälp under arbetet.

Vi vill tacka Göran Anderson och övriga medarbetare på GICON för god hjälp under arbetet samt ett trevligt bemötande.

Vi vill också tacka vår examinator och handledare på Chalmers, Anders Trüschel och Torbjörn Lindholm, som gett oss bra hjälp och input till arbetet.

Göteborg juni 2023

Lisa Hellström  
Nils Steijer

# Beteckningar

## Symboler

$A$	Area [ $m^2$ ]
$c_p$	Specifik värmekapacitet [ $\frac{J}{kg \cdot K}$ ]
$\Delta p$	Differanstryck [Pa]
$\eta$	Verkningsgrad [-]
$E$	Energi [kWh]
$F_{geo}$	Geografisk justeringsfaktor [-]
$G$ -värde	Andelen solenergi som överförs via transmission [-]
$LT$ -värde	Transmissionen av det synliga solljuset [-]
$n$	Livslängd [år]
$P$	Effekt tillförd kompressor [W]
$Q$	Avgiven värmeeffekt [W]
$\rho$	Densitet [ $\frac{kg}{m^3}$ ]
$r_k$	Kalkylränta [%]
$t_c$	Termisk tidskonstant [h]
$U$ -värde	Värmemotstånd [ $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ ]
$\dot{V}$	Flöde [ $\frac{m^3}{s}$ ]
$V_{fi}$	Viktningfaktor för energikälla [-]
$W$	Effekt från fläktar [W]

## Förkortningar

$BBR$	Boverkets Byggregler
$COP$	Coefficient of Performance
$EER$	Energy Efficiency Ratio
$LCC$	Life Cycle Cost / Livscykelkostnad
$SFP$	Specific Fan Power [ $kW/m^3/s$ ]
$Um$	Genomsnittligt värmegenomgångsmotstånd

## **Definitioner**

<i>A<sub>temp</sub></i>	Arean av samtliga våningsplan avsedda att värmas till mer än 10 °C, som begränsas av klimatskärmens insida
<i>Förbättrad</i>	Används för att benämna klimatskal med bättre U-värde än kraven i BBR
<i>BBR i tabeller</i>	Används för att benämna klimatskal med U-värde enligt krav i BBR



# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Samhället står idag inför en energikris som kan leda till avstängning av el i delar av landet. Som en följd av bristen på energi ser man ett skenande elpris vilket påverkar både företag och privatpersoner. I media rapporteras det om hur Sverige ska klara av att tillgodose dagens energibehov. Befolkningen uppmanas att minska sin energianvändning och dagligen går det att läsa om hur man kan minska sina elkostnader. Utöver det ökande elpris har även kostnaden för värme, exempelvis fjärrvärme ökat. Därmed är energianvändning samt hur den kan sänkas högst aktuellt.

I kommersiella byggnader med exempelvis kontor och annan verksamhet som har ett högt energibehov blir effektiviseringen extra viktig. För att minska energianvändning krävs även kunskap inom området samt vilka åtgärder som är tillämpbara. Det första statliga initiativet att bygga och renovera hus för att öka energieffektivisering kom till följd av oljekrisen 1973 (Lengér, Leijonhufvud, & Tunefalk, 2020). Sverige hade under en längre tid blivit alltmer beroende av olja för att täcka energibehovet i landet, 1973 ökade oljepriset med 400% vilket slog hårt mot ekonomin. Det ledde till bidrag och förmånliga lån för att tilläggsisolera byggnader, för att minska energianvändningen. Kunskapen kring hur vi kan bygga energieffektivt har under senare tid blivit uppmärksammat och är en viktig aspekt i dagens byggande.

I detta arbete kommer olika lösningar för att minska energianvändningen utvärderas. Med utgång från en kommersiell fastighet med 90-tals standard kommer en energieffektiviseringsplan tas fram.

## 1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att utvärdera effekten av olika energiåtgärder på exempelvis klimatskal och tekniska system. För att sedan skapa ett komplett åtgärdsförslag för att minska fastighetens energianvändning.

Med energieffektiviseringen som grund kommer arbetet att fokusera på driftskostnaden för fastigheten. Målet är att uppnå en så låg drift- och totalkostnad som möjligt.

## 1.3 Avgränsningar

Objektet för detta arbete är en befintlig kontorsbyggnad med 90-talsstandard som är placerat i Göteborg. Detta arbete är baserat på simuleringar utförda i IDA ICE och är därför en teoretisk studie som inte helt motsvarar verkligheten.

En avgränsning har gjorts till områdena som ansågs vara intressanta med hänsyn till energieffektivisering och lönsamhet. Resultatet är även avgränsade till livscykelkostnadsanalyser som innefattas av totalkostnad och driftskostnad.

Då arbetet är ett examensarbete på 15 högskolepoäng är tiden begränsad och därför finns det inte tid att undersöka alla möjliga energieffektiviseringsåtgärder. Detta lämnar utrymme att bygga på arbetet med framtida examensarbeten som undersöker de åtgärder som inte har utvärderats.

## 1.4 Frågeställningar

- Vilka åtgärder är mest effektiva för att minska energianvändningen i en byggnad med 90-talsstandard?
- Är det möjligt att halvera primärenergital och driftskostnad för en kommersiell byggnad med 90-talsstandard med olika tekniska lösningar?
- Vad är ett lämpligt åtgärds paket för att minska driftskostnad och energianvändning i en kommersiell byggnad?
- Hur bör olika energieffektiviseringsåtgärder för att minska energianvändningen i en kommersiell byggnad prioriteras?

## 1.5 Metod

Arbetet utgår från en befintlig IDA modell av ett typhus med byggnadsstandard från tidigt 90-tal. Byggnaden är en kontorsbyggnad och består till största del av öppna kontorslandskap och cellkontor. Det finns även konferensrum, restaurang och andra typer av öppna ytor. Indata för belastningar i byggnaden är hämtad från *Brukardata för energiberäkningar i kontor-vägledning* av Sveby (2010). Vidare antogs antal personer i byggnaden enligt standard och ett hygienflöde beräknades.

I IDA ICE utfördes simuleringar med olika åtgärder på klimatskal och tekniska system. Från IDA togs sedan resultaten för energianvändning samt värme- och kylbehov och ytterligare beräkningar gjordes i Excel. Att arbeta i IDA ICE valdes då programmet med noggrannhet simulerar förhållandet i en hel byggnad under längre tid, i detta fall ett år.

I Excel beräknas energibehov samt kostnad för olika värme- och kylsystem. Beräkningar genomfördes även för solceller och energilagring. I och med att arbetet studerar kostnader och lönsamhet behövs elenergikostnad för beräkningar, dessa hämtades från Nordpools spotpriser för 2022.

För att värdera olika typer av åtgärder och investeringar har livscykelkostnadsanalyser enligt nuvärdesmetoden utförts. Baserat på livscykelkostnadsanalyserna antogs sedan ett komplett åtgärdsprogram för byggnaden fram, med de åtgärder som anses effektivast.

## 1.6 Litteraturstudie

I detta arbete har *Brukardata för energiberäkningar i kontor-vägledning* av Sveby (2010) använts för att ta fram indata till IDA modelleringen. Med indata gjordes sedan simuleringar som tog fram byggnadens laster och behov.

Böckerna *Projektering av VVS-installationer* (Warfvinge & Dahlblom, 2021) samt *Byggnaden som system* (Abel & Elmroth, 2008) har studerats för att ge en grundläggande förståelse för energi och inneklimat i byggnader.

Examensarbetet *Energiprestanda i höga kontorsbyggnader med vattenburet kylsystem* (Antonsson & Phu, 2020) berör hur man kan öka energiprestanda i höga byggnader.

Vidare har flertalet liknande arbeten, studerats detta för att öka kunskapen kring ämnet. De arbeten som studerats behandlar främst energieffektivisering i bostäder samt energiprestanda i kommersiella fastigheter. Tidigare arbeten ger bra startpunkt för hur en undersökning inom ämnet kan bedrivas men denna bör modifieras efter objektet som studeras samt efter vilken typ av utredning som utförs.

## **1.7 IDA ICE 4.8**

IDA ICE är ett energiberäkningsprogram som analyserar energianvändning och termisk komfort. I programmet kan modeller för olika simuleringar byggas upp. Programmet gör simuleringar med hjälp av klimatfiler för vald geografisk plats och över olika tidsperioder. Modellering av byggnader sker med hjälp av olika zoner där ramvillkor ställs in. Programmet ger möjlighet till noggrann modellering av olika VVS-system samt styr- och reglersystem. Simuleringarna i IDA ICE kan ge olika utdata bland annat, värme-, kyl- och energibehov. I detta arbete har främst energisimuleringar gjorts med hänsyn till frågeställningarna.

## 2 Teori

Detta kapitel kommer behandla de olika teoretiska delar som arbetet berör för att skapa en bättre förståelse hos läsaren.

### 2.1 Termisk komfort

Hur ett rum upplevs kallas för termisk komfort och syftar till hur man upplever ett klimat (Boverket, 2022). Ett bra termiskt klimat är viktigt för människors välbefinnande och hälsa (Abel & Elmroth, 2008). I en byggnad finns flera komponenter som påverkar den termiska komforten bland annat isoleringen, fönsterstorlek och uppvärmningssystem. För att mäta den termiska komforten tar man hänsyn till temperatur, fuktighet, luftens rörelse samt den operativa temperaturen (Abel & Elmroth, 2008). Operativ temperatur beskriver den inverkan som lufttemperaturen och värmestrålning har på det upplevda klimatet i ett rum (Shiltagh, 2015). I tabell 1 redovisas krav på den operativa temperaturen för att uppnå olika kvalitetsklasser.

Tabell 1. Tabellen visar krav som ska uppnås för olika kvalitetsklasser (Svensk Ventilation, 2003).

Inneklimatfaktor	Faktorvärde i kvalitetsklass			
	TQ1	TQ2	TQ3	TQX
<b>Operativ temperatur (t<sub>o</sub>)</b>				
Vinterfall				Enl. spec.
- högsta värde °C	23	24	26	
- optimalvärde °C	22	22	22	
- lägsta värde °C	21	20	18	
Sommarfall				"
- högsta värde °C	25,5	26	27	
- optimalvärde °C	24,5	24,5	24,5	
- lägsta värde °C	23,5	23	22	
<b>Lufthastighet inom vistelsezon</b>				
vinterfall m/s	0,15	0,15	0,15 (0,25)	"
sommarfall m/s	0,20	0,25	0,40	
<b>Vertikal temperaturdiff.</b>				
sommar-/vinterfall °C	2,5	3,0 (3,5)	3,0 (4,5)	"
<b>Strålningstemp. asymmetri</b>				
- mot varmt tak, K	4	5	7	"
- mot kall vägg (fönster), K	8	10	12	
<b>Golvtemperatur</b>				
högsta värde °C	26	26	(32)	"
lägsta värde °C	22	19	16	
Enligt BFS 1988:18				
- högsta värde °C	27	27	27	
- lägsta värde °C	16	16	16	
- optimalvärde °C	24	24	24	

En del av den värmestrålning som påverkar den operativa temperaturen ingår i det som kallas internvärme. Internvärme innefattas av den värme som avges passivt från apparater och personer i en byggnad. Detta värmetillskott kan vara positivt eller negativt (Sveby, 2010). För årstider med högt värmebehov kan intervärme vara positiv eftersom det minskar behovet av tillförd energi. Under de varmare delarna av

året som har ett kylbehov kan det vara negativt då mer kylning krävs för att motverka internvärmerna.

## 2.2 Klimatskal

Det som skiljer inneklimatet från uteklimatet i en byggnad kallas för klimatskal och är essentiell för en fungerande byggnad. Klimatskalets huvuddelar är grund, ytterväggar, fönster, dörrar och tak (Boverket, 2020). Utöver att klimatskalet skyddar mot regn och vind påverkar dess uppbyggnad energianvändningen. Vidare beror detta på klimatskalets isoleringsförmåga och värmegenomsläpplighet. I Figur 1 redovisas en förenklad bild över principen med klimatskal.



Figur 1. Enkel principbild över ett klimatskal, med en varm och en kall sida

Vid beräkningar relaterade till klimatskalet används  $A_{temp}$ , vilket avser arean i en byggnad som är uppvärmd till 10 °C eller mer (BFS, 2011:6). Därmed räknas inte utrymmen med en lägre temperatur med i  $A_{temp}$ . Ett exempel på detta är garage som generellt sätt ej är uppvärmda.  $A_{temp}$  kommer huvudsakligen användas för beräkningar av primärenergital i detta arbete. Samt för enklare utvärderingar energibehoven.

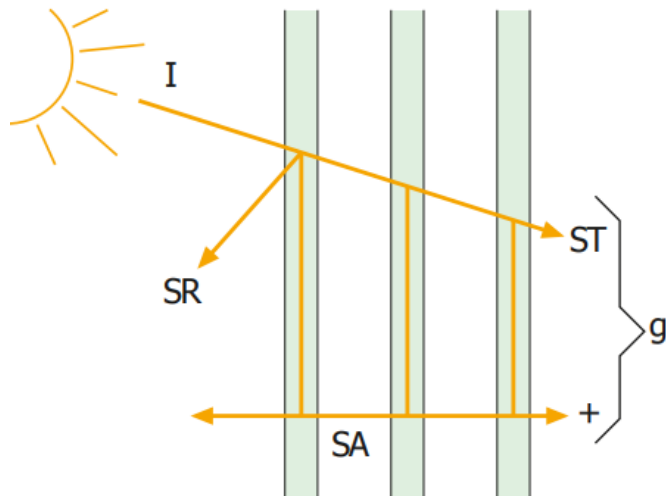
### 2.2.1 U-värden

U-värden, även kallat värmegenomgångskoefficient, används för att mäta ett materials värmegenomsläpplighet (Abel & Elmroth, 2008). Värmegenomsläpplighet är den mängd värme samt energi som ett material släpper igenom. Därmed vill man ha ett lågt U-värde för att minska värmeförluster. De ingående delarna i en byggnad tenderar att ha olika U-värden och för att få en uppfattning av en byggnads genomsnittliga U-värde används  $U_m$ .

### 2.2.2 G- och LT-värden

Utöver U-värden mäts fönsters prestanda med G- och LT-värden dessa parametrar mäter transmission. G-värde, beskriver energitransmissionen i ett fönster, det vill säga hur mycket energi som släpps igenom fönstret. LT-värdet mäter ljustransmissionen genom fönstret, det vill säga hur mycket av solljuset som kommer in genom fönstret

(Pilkington, 2021). LT-värdet har stor betydelse för ljusinsläpp i ett rum och därmed hur rummet upplevs. I Figur 2 visas en principbild över ett fönsters egenskaper.



Figur 2. Princip över fönstrets olika egenskaper (Pilkington, 2021).

### 2.2.3 Solavskärmning

Solavskärmning kan benämnas på olika sätt beroende på var någonstans de installeras. Yttre-, mellanliggande- och inre solavskärmning påverkar inte glaset i fönstret, men det finns även solavskärmande fönster (Frost & Lyckander, 2012). Vidare är den mest effektiva typ av solavskärmning med hänsyn till värmeökning yttre solavskärmning. Detta eftersom yttre solavskärmning stoppar strålningen tidigare än övriga alternativ, vilket därmed minskar strålningens uppvärmningseffekt genom glaset.

## 2.3 Tekniska system

I detta kapitel kommer de olika tekniska system som ingår i de energiförbättringar som examensarbetet berör tas upp.

### 2.3.1 Värmesystem

Värmesystems huvudsakliga uppgift är att upprätta god termisk komfort i en byggnad. Värmesystemet tillför värme vid behov, vilket kan ske genom luftburen- eller vätskeburen värme. Det finns olika system för vätskeburen värme, det vanligast är radiatorer som med hjälp av varmt vatten i ett slutet system avger värme till ett rum genom strålning och konvektion. Olika typer av radiatorer avger värme med varierande andel av konvektion eller strålning (Warfvinge & Dahlblom, 2021). För att en radiator skall fungera optimalt skall den placeras så att luft obehindrat kan flöda genom den. I ett system med luftburen värme värms rummet upp med cirkulerande luft. Luften värms upp med någon typ av värmeväxling exempelvis fjärrvärme. En nackdel med luftburen värme är att det kräver god cirkulation i rummet (Wetterbrandt, 2017).

### 2.3.2 Kylsystem

Kylsystem används för att kyla ett rum och då bibehålla termisk komfort. Detta görs antingen med luft- eller vattenburen kyla. Luftburen kyla drivs med kylbatteri som bortför värme från uteluften, luften blir då sval och kan tillföras som tilluft (Warfvinge & Dahlblom, 2021). Vattenburen kyla delas in i två huvudkategorier; aktiv och passiv kylning. Med aktivkylning tillförs luften genom en luftkylare, vanligtvis en aktiv kylbaffel, som kyls med vatten. En aktiv kylbaffel kyler genom strålning mot ytor, påtvingad konvektion och temperaturdifferens mellan rum och tilluft. En passiv kylbaffel kyler utan tilluft. Kylning sker istället genom strålning och naturlig konvektion.

### 2.3.3 Ventilationssystem

Ventilationen i en kontorsbyggnad är viktig för att en god arbetsmiljö ska kunna upprätthållas. Generellt finns det två olika typer av ventilationssystem CAV (Constant Air Volume) och VAV (Variable Air Volume) (Warfvinge & Dahlblom, 2021). I ett CAV-system är till- och frånluftflödet konstant och är antingen på eller av. Ett CAV-system kan därmed inte anpassas efter behov i ett specifikt rum.

I VAV-system har man ett variabelt luftflöde som anpassas efter behov. Detta gör att VAV-system kan täcka rummets behov bättre än ett CAV-system (Warfvinge & Dahlblom, 2021). Vidare kan systemet styras efter ett antal olika faktorer som temperatur, koldioxidhalt eller efter bokningar av exempelvis konferensrum.

Ett mått på hur mycket energi som krävs för att driva ventilationssystemets fläktar är SFP (specific fan power) med enheten  $kW/m^3/s$ . Det högsta SFP en byggnad får ha reglerats i BBR (2010) som har krav på ett SFP under  $1,5 kW/m^3/s$  för ventilationsaggregat med värmeåtervinning. Aggregat med värmeåtervinning och kyla har ett något lägre krav på  $1,6 kW/m^3/s$ . Se ekvation 1 och 2 för beräkning av SFP samt effekt.

$$SFP = \frac{W_t + W_f}{\dot{V}_{max}} \left[ \frac{W}{\left(\frac{m^3}{s}\right)} \right] \quad [\text{ekv. 1}]$$

$W_t$	Effekt tilluftsfläkt [W]
$W_f$	Effekt frånluftsfläkt [W]
$\dot{V}_{max}$	Maximalt flöde [ $m^3/s$ ]

$$W_i = \frac{\Delta p * \dot{V}}{\eta} [W] \quad [\text{ekv. 2}]$$

$\Delta p$	Differenstryck [Pa]
$\dot{V}$	Flöde [ $m^3/s$ ]
$\eta$	Verkningsgrad [%]

### Luftflöden samt drifttider i kontor

Luftflöde som bör uppfyllas på ett kontor är enligt Arbetsmiljöverket (2023) minst  $7 \text{ l/s/person} + 0,35 \text{ l/s/m}^2$ , detta för att kunna upprätthålla ett klimat där människor trivs. Östlund (2021) menar dock att luftflödet bör dimensioneras enligt  $0,35 \text{ l/s/m}^2 + 9 \text{ l/s/person}$ , samt att rum belägna mot söder kan ha ett flöde på  $12 \text{ l/s/person}$ .

Ventilationssystemen i ett kontor bör även dimensioneras efter ett driftschema, då ventilation inte krävs dygnet runt. Vanligtvis används ett driftschema med tiderna 07–19 (Sveby, 2010). Många utvidgar dock schemat en timma på morgon och kväll för önskat klimat ska vara uppnått när personer kommer till kontoret (Sveby, 2010).

### 2.3.4 Tappvatten

Behovet av tappvatten är betydligt lägre i en kontorsbyggnad än i bostadshus, detta medför ett lägre energibehov kopplat till tappvarmvatten (Sveby, 2010). Svebys rekommendation på indata till tappvattenanvändning är  $2 \text{ kWh/m}^2$ .

#### Varmvattencirkulation

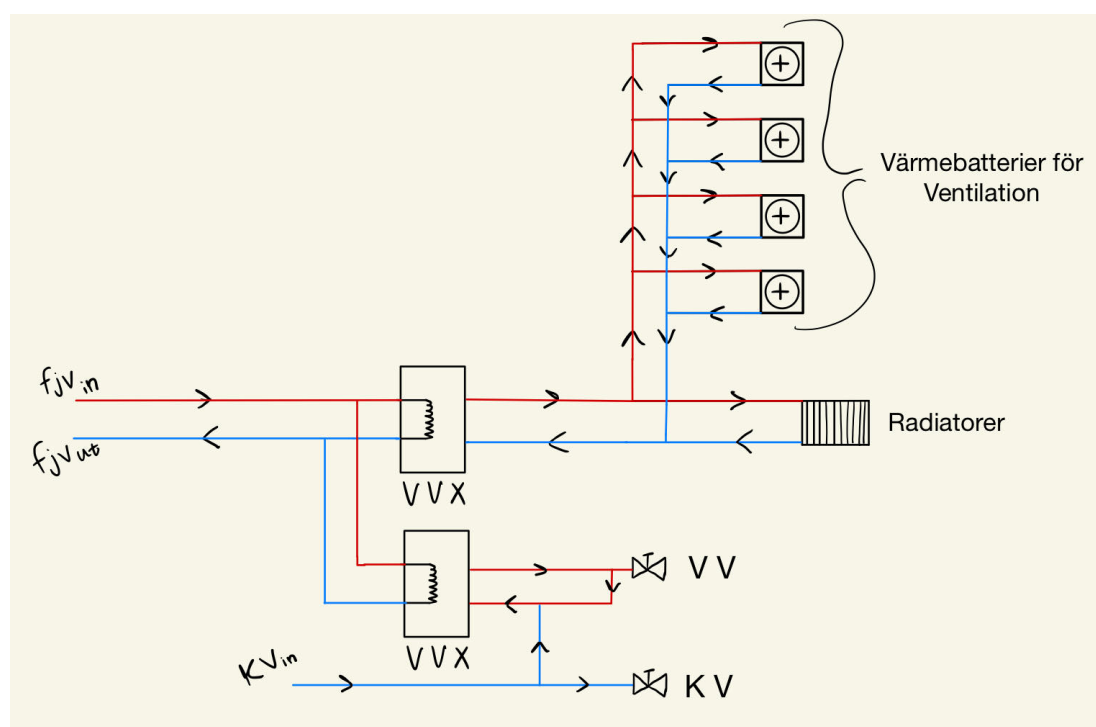
Varmvattencirkulation används i byggnader för att minimera tid det tar från öppnad varmvattenkran till att det varmvatten kommer ur kranen. Detta medför både stålningsförluster till omgivande rum samt förluster till drift av pump som krävs för att hålla vattnet cirkulerande (Warfvinge & Dahlblom, 2021). Varmvattencirkulation spelar också en viktig roll för att förhindra tillväxt av legionella, vilket är hälsofarligt. Detta då stillastående vatten som i takt med att vatten sjunker i temperatur, på grund av värmeförluster till omgivningen, skapar en miljö som legionella kan växa i.

## 2.4 Energikällor

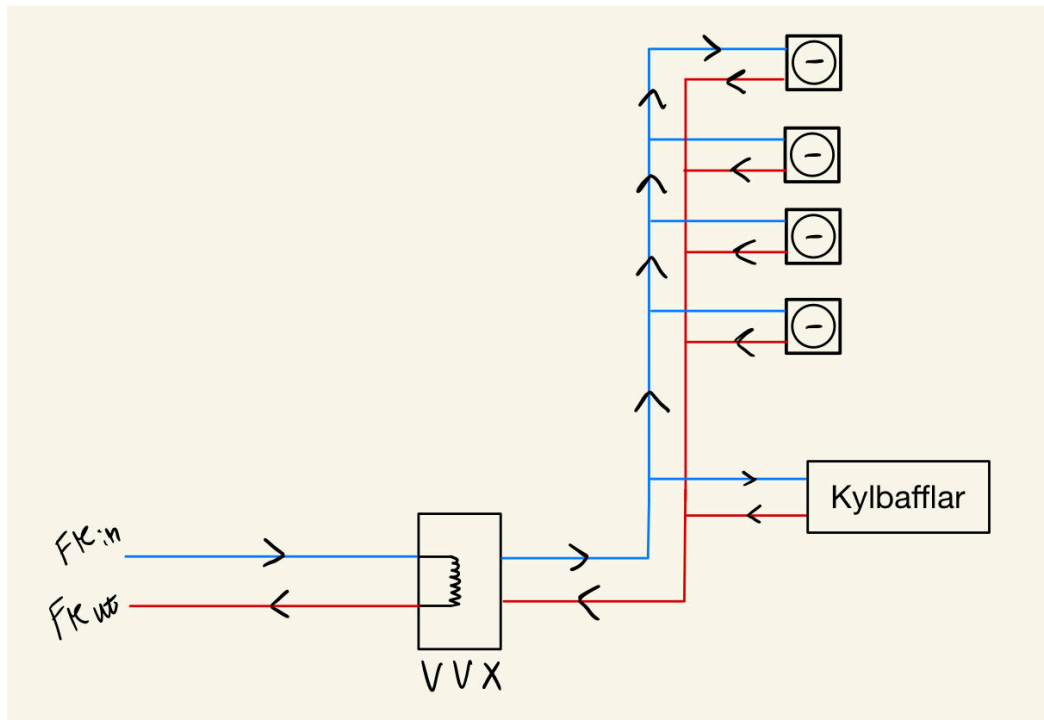
För att uppnå ett gott termiskt klimat och god luftkvalitet inomhus krävs energi. Energikällan varierar beroende på tekniska system och har olika kvaliteter.

### 2.4.1 Fjärrvärme och fjärrkyla

Istället för att varje fastighet skall ha kapacitet att producera värme och kyla samlas behoven i en centralanläggning som kan tillgodose ett stort behov. Fjärrvärme är en vanligt förekommande värmekälla i Göteborg och används till uppvärmning och varmvatten. I ett fjärrvärmesystem värms vatten upp i värmeverk och pumpas sedan till hushållen (Energimarknadsbyrån, 2020). I värmeverken värms vattnet upp med överskottsvärme samt olika rester från industrier. Vattnet som pumpas till hushållen är mellan 70 och 120 grader. Fjärrkyleanläggningarna kyler ett medium, vanligtvis vatten, som sedan distribueras ut till anslutna fastigheter där kylan används i byggnadernas kylsystem (Göteborgs Energi, 2023a). I Figur 4 och 5 redovisas principskisser för hur ett värme- och kylsystem försörjt av fjärrvärme och fjärrkyla kan se ut.



Figur 3. Principskiss för ett system med fjärrvärme.



Figur 4. Principskiss för ett system med fjärrkyla.

### Beräkningsmodeller fjärrvärme och fjärrkyla

Kostnad för fjärrvärme kan beräknas med hjälp av en beräkningsmodell från Göteborg Energi som utgår från fjärrvärmepriserna 2023. I beräkningsmodellen utgår man från två huvuddelar, energianvändning och effektanvändning. Energinvändningen står för 60 % av priset och effektanvändningen för 40 % (Göteborg Energi, 2023b).

För att beräkna kostnaden för fjärrkyla används en liknande modell från Göteborg Energi. För fjärrkyla baseras priset 35 % på energianvändningen, 55 % på effekten och 10 % på flödet (Göteborg Energi, 2023a).

### 2.4.2 Geoenergi

Principen som används vid utvinning av bergvärme är att en köldbärarvätska cirkuleras för att få upp energi. När vätskan kommer upp till byggnaden höjs temperaturen och kan då användas till uppvärmning av en byggnad (SGU, u.å). Denna princip illustreras i Figur 6. För att höja och sänka temperaturen på vätskan krävs en bergvärmepump som drivs med energi i form av el.

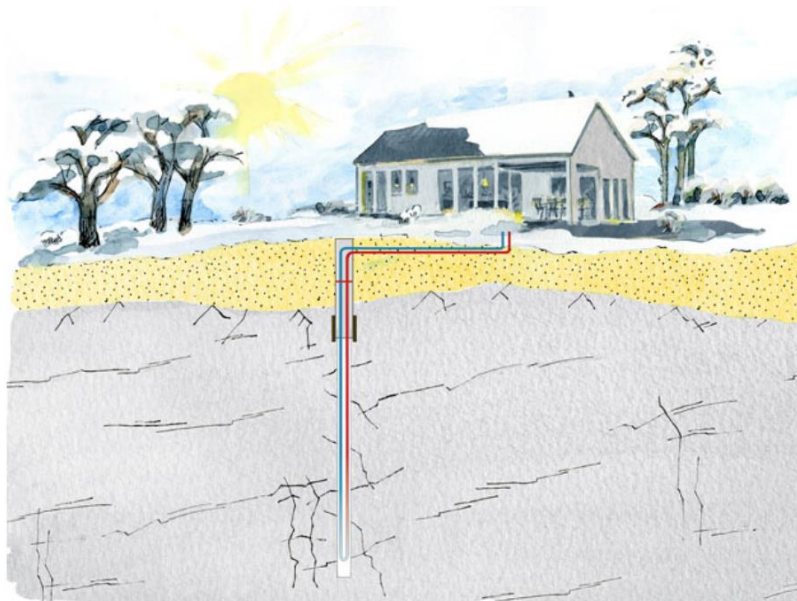
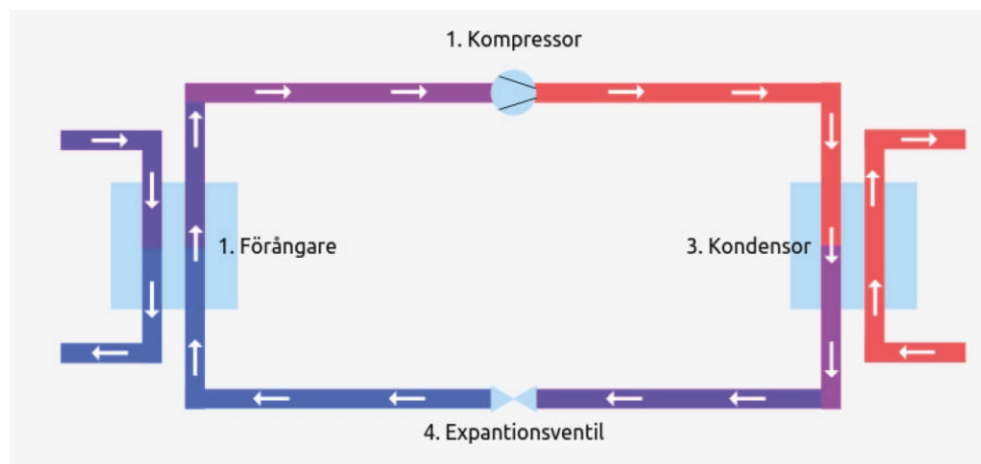


Bild: ArtAnna/SGU

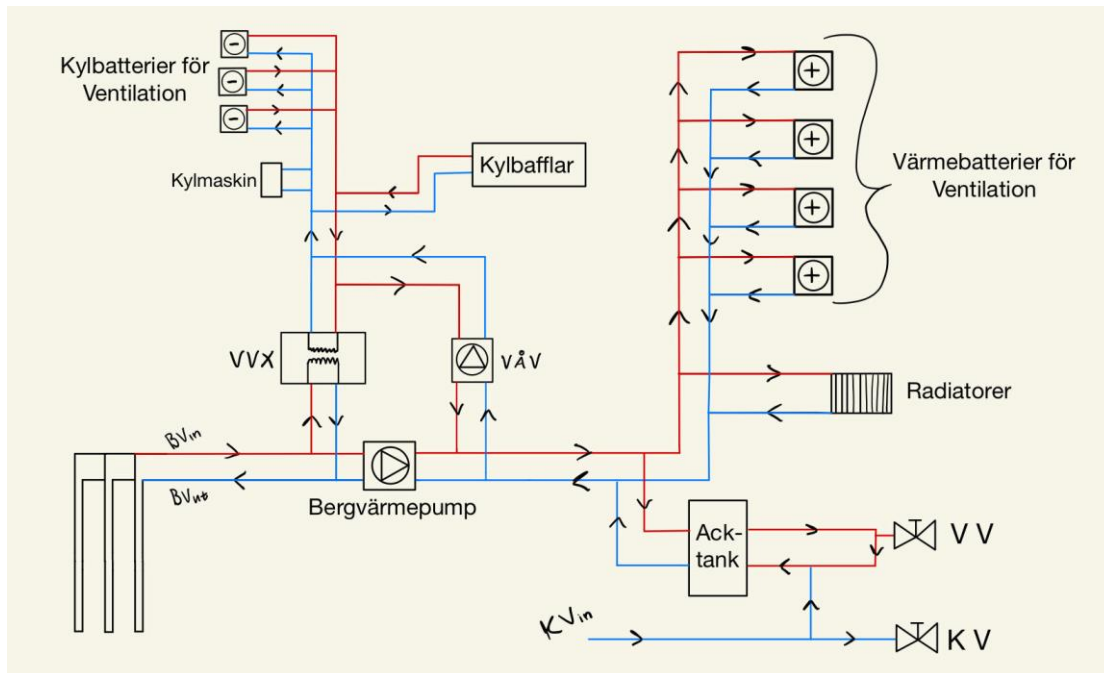
Figur 5. Principbild för bergvärme (SGU, u.å).

Värmepumpen består av en förångare, kompressor, kondensor och expansionsventil, se Figur 7. Värmepumpen förångar och ökar trycket i köldmediet vilket gör att temperaturen ökar. Det uppvärmda mediet överför sedan sin energi genom en fasövergång som sker i kondensorn (Warfvinge & Dahlblom, 2021). Därefter passerar köldmediet expansionsventilen där trycket sänks vilket sänker temperaturen och processen kan börja om. Prestandan på värmepumpar mäts med COP och beskrivs senare i rapporten.



Figur 6. Förenklad princip över en värmepump (GreenMatch, 2023)

Frikyla kan billigt hämtas ur berggrunden genom att använda värmepumpen som redan är installerad för att hämta bergvärme (NIBE, u.å). Vid utvinning av frikyla används berggrunden som en värmesänka, vilket är motsatsen till utvinning av bergvärme. Under årets varmare månader pumpas därmed kyla upp och värme ner i borrhålen (Lucia, Simonetti, Chiesa, & Grisolia, 2010). Vidare är det fördelaktigt att hämta kyla ur berggrunden eftersom det ökar prestandan på bergvärmen under den kallare delen av året. Då användning av kyla "laddar" borrhålet med värme. I Figur 7 illustreras principen för en geoenergianläggning.



Figur 7. Principbild av system med bergvärme och frikyla.

Borrhål för en geoenergianläggning bör enligt SGU (u.å) ligga på ett avstånd på 20 m från varandra, men detta avstånd kan minskas om borrhålen avser samma byggnad. Vidare är borrhål oftast 100–300 m djupa för att erforderlig effekt ska kunna utvinna.

Effekten man får ut av en geoenergianläggning varierar beroende på temperatur i berggrunden, grundvattennivå samt geografiska förutsättningar (Offentliga fastigheter, 2017). En tumregel som kan användas är att en värmeeffekt på 50 W per meter borrhål samt kyleffekt på 40 W per meter borrhål kan utvinna (T. Antonsson, Personlig kommunikation, 21 februari 2023). Vidare är energin som går att utvinna 120–150 kWh per meter borrhål.

### COP – Coefficient of performance

COP eller coefficient of performance är ett mått på hur effektiv en värmepump är (Warfvinge & Dahlblom, 2021). Den visar på förhållandet avgiven värmeeffekt i kondensorn samt tillförd eleffekt till kompressorn. Ju högre COP desto effektivare värmepump. COP kan beräknas enligt ekvation 3.

$$COP = \frac{Q_V}{Q_V - Q_K} [-] \quad [\text{ekv. 3}]$$

$Q_V$                       Effekt värme [W]  
 $Q_K$                       Effekt kyla [W]

### EER - Energy Efficiency Ratio

EER beskriver likt COP energiprestanda men för kylmaskiner och inte värmepumpar. EER säger hur mycket energi maskinen ger i relation till vad den gör av med (Polarpumpen, u.å.).

## Underhållskostnader

Oavsett vilken typ av värmesystem man väljer i en byggnad så tillkommer underhållskostnader. Den årliga underhållskostnaden kan antas till 0,5 % av grundinvesteringen för fjärrvärme och till 1 % av grundinvesteringen vad gäller bergvärme (Abrahamsson, Persson, Nilsson, & Friberg, 2011). I det årliga underhållet för bergvärmens ingår en kostnad för kompressorbyte var 15 år.

## 2.5 Värmeåtervinning

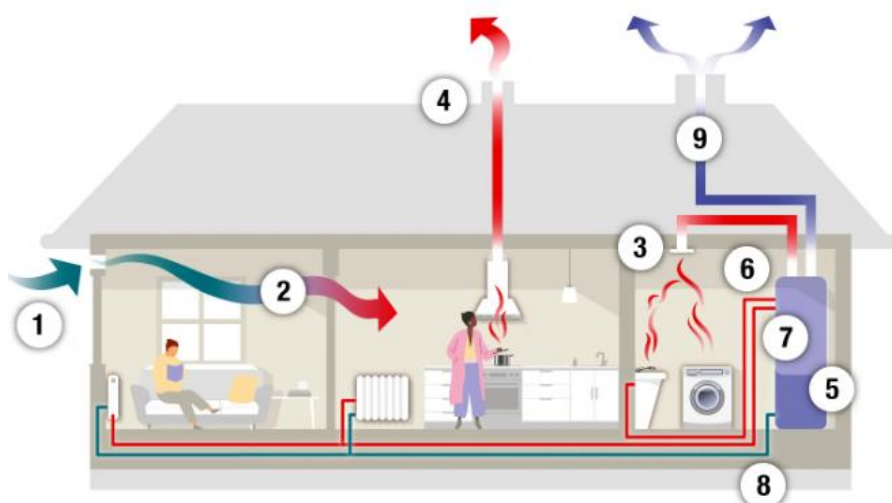
Värmeåtervinning kan utnyttjas i flera olika system i en byggnad för att ta vara på energi som annars hade gått till spillo. Nedan beskrivs några olika principer för värmeåtervinning.

### Värmeåtervinning i ventilationsaggregat

För att inte förlora energi i den varma frånluften i ett luftbehandlingssystem kan ett FTX-system användas. I ett FTX-system ingår ett värmeåtervinningsaggregat som överför värmen från frånluften till tilluften (Olthnäs, 2021). Genom att använda detta system minskar uppvärmnings- och energibehovet. Det finns olika typer av värmeåtervinnare i FTX aggregat.

### Frånluftsvärmepump

En frånluftsvärmepump fungerar på likande sätt som värmeåtervinningsaggregat i ett FTX-system. Frånluftsvärmepumpen använder värmen i frånluften till att värma de vattenburna systemen (Warfvinge & Dahlblom, 2021). Figur 8 visar hur frånluftsvärmepumpen fungerar. Vid 3an i figuren tas frånluften upp för att värma vattnet som sedan skickas ut till radiatorer och tappställen (Energimyndigheten, 2022).



Figur 8. Principbild över hur frånluftsvärmepump fungerar (Energimyndigheten, 2022).

### Intern värmeåtervinning

I ett system med adekvat värme- och kylbehov kan intern värmeåtervinning användas. Kylprocessen ger upphov till värme som kan användas vid uppvärmning av byggnaden istället för att släppas ut. Detta kan göras med en värmepump som beskrivs i kapitel 2.4.2 Geoenergi. Intern värmeåtervinning används för att minska energianvändningen i en byggnad.

## 2.6 Energi

Byggnaders energianvändning kan sammanfattas i tre huvudområden; energi till uppvärmning, kylning samt elenergi.

### 2.6.1 Energistrategier

En energistrategi handlar om hur man på olika sätt kan optimera sin energianvändning genom att sätta upp specifika mål. En energistrategi kan till exempel ha som mål att minska andel köpt energi eller minska den totala energianvändningen.

För att få en förståelse för vilka typer av energistrategier som är aktuella har ett antal olika fastighetsförvaltares energistrategier studerats. Några av dessa är Akademiska hus och Vasakronan. Man såg att energistrategierna skiljer sig mycket men ofta har liknade mål, minska energianvändningen. Akademiska hus (2021) skriver i sin *Klimat- och Energistrategi* att deras målsättning är att bli klimatneutrala. För att nå målet ska man minska sitt energibehov, behovet av inköpt energi samt endast köpa fossilfri el. Vasakronan presenterar en annan typ av energistrategi för att minska sin energianvändning. Ett av deras mål är att halvera energianvändning (Vasakronan, 2022), vilket ska uppnås genom optimerad drift och smart styrning. Ytterligare mål de vill uppnå är att bli självförsörjande på energi. För att uppnå de vill de minska sitt energibehov samt installera solceller och geoenergi till sina byggnader.

Genom att tydligt satsa på en energistrategi kan man enkelt sätta upp mål samt få en bekräftelse när målet är uppnått. I detta arbete kommer det ligga ett fokus på hur man genom att minska sin energianvändning kan minska kostnader. Den energistrategi som tillämpas bygger alltså på att minska driftkostnaden för byggnaden.

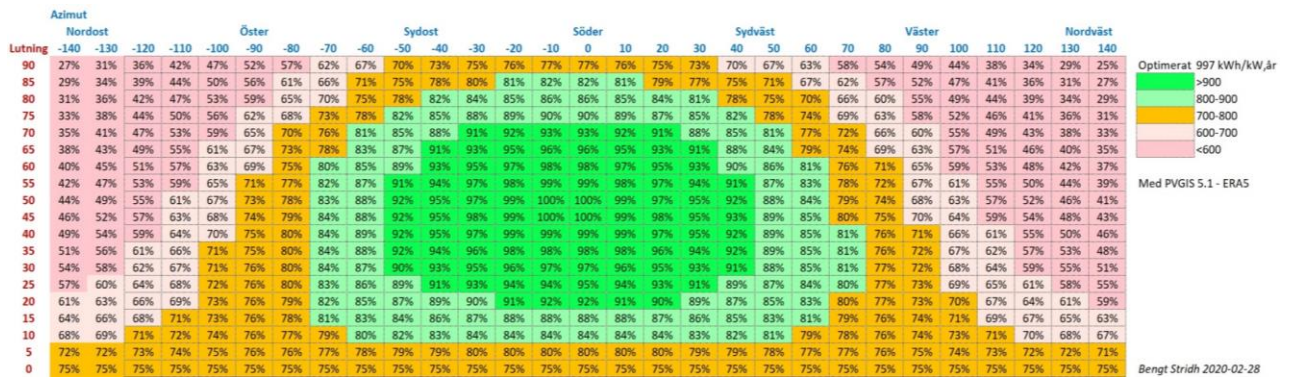
## 2.7 Solceller

En åtgärd som är tillämpbar för minskade energikostnader är solceller. Energikällan, solen, är gratis och förnybar. Solceller omvandlar solenergi till elenergi då solstrålarna absorberas på panelens yta och skapar en skillnad i spänning vilket i sin tur blir elenergi (Naturskyddsföreningen, 2021).

För att beräkna möjlig energiproduktion från solceller används en beräkningsmodell från OTOVO (Tighnavard, 2022). För att beräkna en möjlig elproduktion används följande samband.

$$\begin{aligned} \text{Årlig produktion [kWh]} &= \text{Installerad effekt} * \text{faktor för lutning och riktning} \\ &* \text{solinstrålningintensitet} * \text{effektförlustfaktor} \\ &* \text{effektminskningsfaktor} \end{aligned}$$

Den installerade effekten beror på antal solceller som installeras samt deras effekt. För beräkning av hur mycket energi som kan absorberas krävs en faktor baserad på riktning och lutning, vilket tas ut från Figur 9. Solinstrålningen antas vara 997 kWh/kW och faktorerna för effektföruster och minskad effekt sätts till 0,9 (Tighnavard, 2022).



Figur 9. Andel solenergi som kan tillgodoräknas beroende på lutning och riktning.

Den genomsnittliga monteringskostnaden av solceller på kommersiella fastigheter var 2021 ca 9300 kr/kW (IEA, 2021). En positiv aspekt av installation av solceller är ökat fastighetsvärdet då en investering av denna typ är attraktiv för hyresgäster samt fastighetsförvaltare. Studier visar att fastighetsvärdet kan öka med ca 1,5 % vid installation av solceller (Regner & Stojanovic, 2022).

## 2.8 Energilagring

För att minska energikostnad kan energilagring vara ett alternativ. Med energilagring kan man producera exempelvis solenergi på dagen, när tillgången är stor, för att sedan använda på natten. Det möjliggör även att el kan köpas när den är billig och sedan användas när elpriset är högt (A. Nordling, 2015). Energilagring är även en viktig del i att skapa ett hållbarare energisystem men kan också hjälpa en enskild byggnad att sänka energikostnaden (Dahl, 2020). Detta eftersom energilagring kan kapa effekttoppar och minska variationen i ett system. Det finns flera olika typer av energilagringstekniker och brukar delas in i fyra kategorier, mekaniska, elektiska, elektrokemiska och kemiska (A. Nordling, 2015).

Det finns flera olika strategier som kan tillämpas vid energilagring. Några olika strategier som är lämpliga för detta arbete, där en minskad kostnad är målet, är time-shift och peak shaving. Time-shift är en metod som jämna ut energiproduktionen genom att lagra energi för att använda när behovet är stort (Berrada & Loudiyi, 2019). Principen för time-shift illustreras i Figur 10, man ser hur energin flyttas från en period med lågt behov till en period med högt behov.

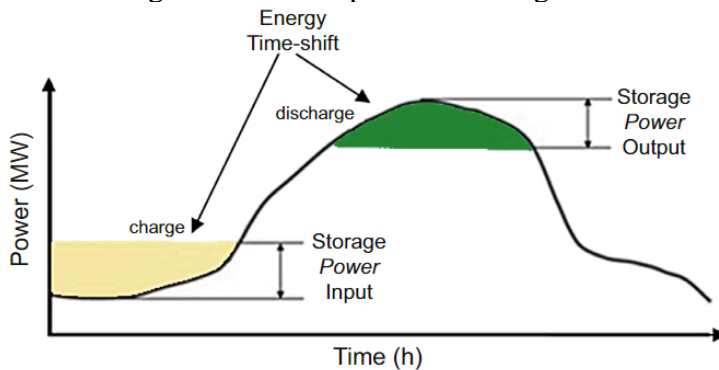
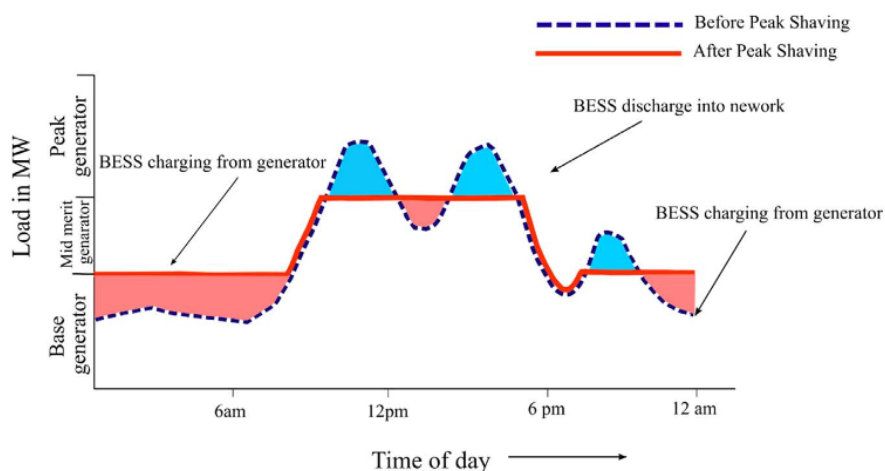


FIG. 4.1 Electric energy time-shift.

Figur 10. Princip för time-shift (Berrada & Loudiyi, 2019).

En annan metod som ofta tillämpas är peak shaving, där man använder den lagrade energin när behovet eller priset är högt. Detta är ett sätt att minska

belastningsvariationen i ett system. En annan fördel är att denna metod minskar kostnaden för energin (Uddin & al, 2017). I Figur 11 visas metoden med peak shaving.



Figur 11. Peak shaving (Uddin & al, 2017)

## 2.8.1 Batterier

Batterilagring ses som den lagringsmetod som har högts potential på en kommersiell nivå (A. Nordling, 2015). Batterier lagrar kemiskenergi som vid urladdning omvandlas till elektrisk energi. Det finns tre principer som batterier bygger på: batterier kan inte själva producera el, batterier behöver laddas med el innan de kan avge el samt batterier har en kapacitet och den kan inte överskridas (Bagger Toräng & Rickhammar, 2020).

För att öka lönsamheten i batterilagring kan de installeras tillsammans med solceller. Genom att koppla batterier till solcellerna kan energin lagras och användas när behovet är högt (Energimyndigheten, 2022). Man kan se batterier kopplade till solceller som en typ av peak shaving strategi. Batterier har en relativt kort livslängd på 10 år (Sandell & Olofsson, 2017). Vidare kostar installation av batteri för lagring 4 400 kr/kWh med en fast installationskostnad på 11 000 kr.

## 2.9 Primärenergital

Vid utvärdering av en byggnads energiprestanda kan primärenergital användas. Primärenergital är ett tal som mäter byggnadens energianvändning med ett korrigerat tal för energin som det tar att värma upp byggnaden i relation till dess geografiska läge (Boverket, 2011). En ytterligare faktor läggs till för att ta hänsyn till var ifrån energin kommer, viktningfaktorn  $VF_i$ . Primärenergitalet beräknas med ekvation 4. Nedan står ansatta värden för  $VF_i$  tabellerade, se tabell 2.

$$EP_{pet} = \frac{\sum_{i=1}^6 \left( \frac{E_{uppv,i}}{F_{geo}} + E_{kyl,i} + E_{tvv,i} + E_{f,i} \right) * VF_i}{A_{temp}} \left[ \frac{kWh}{m^2} \right] \quad [\text{ekv. 4}]$$

$E_{uppv,i}$  Energi till uppvärmning [kWh/år]

$E_{kyl,i}$  Energi för komfortkyla [kWh/år]

$E_{tvv,i}$	Energi till tappvarmvatten [ $kWh/\text{år}$ ]
$E_{f,i}$	Energi till fastighetsenergi [ $kWh/\text{år}$ ]
$A_{temp}$	Area av samtliga våningsplan [ $m^2$ ]
$F_{geo}$	Geografisk justeringsfaktor [-]
$VF_i$	Viktningfaktor för respektive energibärare [-]

Tabell 2. Viktningsfaktor för olika energikällor (BFS, 2017:6).

Energikälla	$VF_i$
El ( $VF_{el}$ )	1,8
Fjärrvärme ( $VF_{fjv}$ )	0,7
Fjärrkyla ( $VF_{fjk}$ )	0,6
Fasta, flytande och gasformiga biobränslen ( $VF_{bio}$ )	0,6
Fossil olja ( $VF_{olja}$ )	1,8
Fossil gas ( $VF_{gas}$ )	1,8

$F_{geo}$  varierar över landet mellan 0,8 längst ned i Skåne till 1,9 i Gällivare och Kiruna.  $F_{geo}$  för Göteborg och hela Västra Götaland är 0,9 (Sveby, 2010). Kraven i BFS (2011:6) varierar för olika byggnader, där småhus har lägre krav och lokaler större än  $50 m^2$   $A_{temp}$  har krav på  $70 kWh/m^2$ .

## 2.10 Klassificeringar

Det finns tre kvalitetsklasser A, B och C tidigare TQ1, TQ2 och TQ 3. Dessa kvalitetsklasser beskriver andel personer som kommer vara nöjda med det termiska klimatet i ett rum. I klass A förväntas >94 % av människor i rummet vara nöjda med det termiska klimatet. I klass B >90 % och i klass C >85 % vara nöjda (Warfvinge & Dahlblom, 2021). I Tabell 3 redovisas kraven för de olika kvalitetsklasserna.

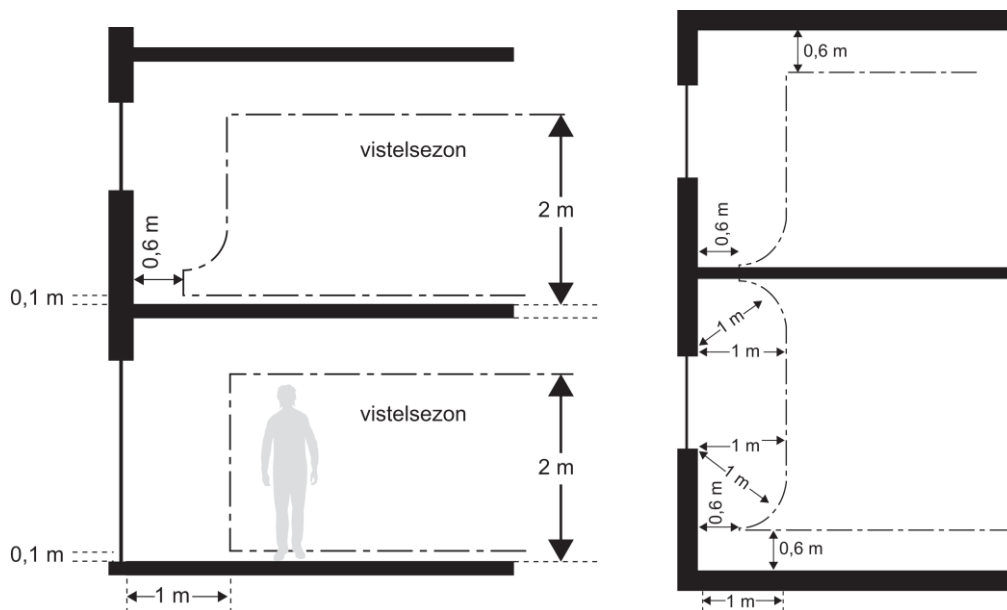
Tabell 3. Termisk kvalitet (Svensk Ventilation, 2003)

Inneklimatfaktor	Faktorvärde i kvalitetsklass			
	TQ1	TQ2	TQ3	TQX
<b>Operativ temperatur (t<sub>o</sub>)</b>				
Vinterfall				Enl. spec.
- högsta värde °C	23	24	26	
- optimalvärde °C	22	22	22	
- lägsta värde °C	21	20	18	
Sommarfall				"
- högsta värde °C	25,5	26	27	
- optimalvärde °C	24,5	24,5	24,5	
- lägsta värde °C	23,5	23	22	
<b>Lufthastighet inom vistelsezon</b>				
vinterfall m/s	0,15	0,15	0,15 (0,25)	"
sommarfall m/s	0,20	0,25	0,40	
<b>Vertikal temperaturdiff.</b>				
sommar-/vinterfall °C	2,5	3,0 (3,5)	3,0 (4,5)	"
<b>Strålningstemp. asymmetri</b>				
- mot varmt tak, K	4	5	7	"
- mot kall vägg (fönster), K	8	10	12	
<b>Golvtemperatur</b>				
högsta värde °C	26	26	(32)	"
lägsta värde °C	22	19	16	
Enligt BFS 1988:18				
- högsta värde °C	27	27	27	
- lägsta värde °C	16	16	16	
- optimalvärde °C	24	24	24	

### 2.10.1 BBR standard

Vid nybyggnation eller renovering behöver BBR, boverkets byggregler, uppfyllas. BBR innehåller föreskrifter och allmänna råd enligt plan- och bygglagen samt plan- och byggförordningen (Boverket, 2021).

Boverkets byggregler sätter krav på bland annat det termiska klimatet, som avser att termisk komfort skall uppnås i den så kallade vistelsezonen. BBR föreskriver också lämpligt klimat i övriga utrymmen skall upprättas med hänseende till användning. Vistelsezonen är definierad som en volym som begränsas av två horisontella och två vertikala plan i ett rum (Boverket, 2023). Gränserna för vistelsezonen redovisas i Figur 12.



Figur 12. Definition av vistelsezonen horisontellt och vertikalt (Boverket, 2023).

Med avseende till termisk komfort bör den riktade operativa temperaturen i lokaler avsedda för arbete inte underskrida 18 °C i vistelsezonen. Lufthastigheten i rummet bör inte överskrida 0,15 m/s under den tid av året som uppvärmning krävs, resterande tid av året bör lufthastigheten inte överskrida 0,25 m/s, detta för att motverka risk för drag (BFS, 2011:6). För att uppnå BBR:s krav på termisk komfort och primärenergital finns det riktvärden på vilka U-värden som bör eftersträvas. Dessa värden finns i Tabell 4.

Tabell 4. Värmeegenomgångskoefficient för olika byggnadsdelar (BFS, 2011:6).

$U_i$	$[W/m^2]$
$U_{tak}$	0,13
$U_{vägg}$	0,18
$U_{golv}$	0,15
$U_{fönster}$	1,2
$U_{ytterdörr}$	1,2

## 2.10.2 Miljöbyggnad

I Sverige finns det flera olika klassificeringssystem för miljöbyggnader, alla utformade på olika sätt (Bengt Dahlgren & CIT, 2013). Man kan dela in systemen i två typer: miljö och energi.

Miljöbyggnad (Sweden Green Building Council) är ett svenskt klassificeringssystem som fokuserar på miljö men tar även hänsyn till energianvändning i klassificeringen. Miljöbyggnad kan uppnås i tre olika nivåer: guld, silver och broms, där guld är det bästa. Vid certifiering finns det 15 indikationer där krav behöver uppnås, där ingår bland annat energianvändning, värmeeffektbehov samt andel förnybar energi (Sweden Green Building Council, 2022). I Figur 13 redovisas betygskriterierna för miljöbyggnad avseende energianvändning.

Betygskriterier			
	BRONS ● 🏠	SILVER ● 🏠	GULD ●
Bostäder	<b>A2-7.1-DNSH 1</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• BBR:s energikrav uppfylls.</li> <li>• Energideklaration med radonmätning som understiger 200 Bq/m<sup>3</sup>.</li> <li>• Mätplan.</li> <li>• Förvaltningsrutiner för uppföljning av energianvändning.</li> <li>• Giltig OVK.</li> </ul>	<b>A1-7.1-SC 1</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Betyg Brons uppfylls.</li> <li>• 80 procent av BBR:s energikrav.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betyg Silver uppfylls.</li> <li>• 70 procent av BBR:s energikrav.</li> <li>• Energideklaration med radonmätning som understiger 100 Bq/m<sup>3</sup>.</li> <li>• &gt; 5 procent av fastighetsenergin är lokalt genererad, förnybar och flödande.</li> </ul>
Lokaler	<b>A2-7.1-DNSH 1</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• BBR:s energikrav uppfylls.</li> <li>• Energideklaration med radonmätning som understiger 200 Bq/m<sup>3</sup>.</li> <li>• Mätplan.</li> <li>• Förvaltningsrutiner för uppföljning av energianvändning.</li> <li>• Giltig OVK.</li> </ul>	<b>A1-7.1-SC 1</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Betyg Brons uppfylls.</li> <li>• 70 procent av BBR:s energikrav.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Betyg Silver uppfylls.</li> <li>• 60 procent av BBR:s energikrav.</li> <li>• Energideklaration med radonmätning som understiger 100 Bq/m<sup>3</sup>.</li> <li>• &gt; 5 procent av fastighetsenergin är lokalt genererad, förnybar och flödande.</li> </ul>

Figur 13. Betygskriterier för miljöbyggnad, indikator 3: Energianvändning

### 2.10.3 LEED

LEED är ett miljöcertifieringssystem för byggnader framtaget av U.S. Green Building Council året 1998 (Bengt Dahlgren & CIT, 2013). Idén bakom certifieringssystemet var att det skulle finnas ett gemensamt internationellt certifieringssystem, vilket gör det till ett av de mest använda miljöcertifieringssystemen idag.

LEED:s system är ett certifieringssystem med olika poängmål med olika klassificeringar, från certifierad till platinum. Byggnader som klassas med LEED klassificeras på sju huvudpunkter som alla har olika underområden (Sweden Green Building Council, 2023). Dessa är hållbara tomt val, vatteneffektivitet, energi och atmosfär, material och resurser, innemiljö kvalitet, regionala prioritetspoäng samt innovation och design. Totalt finns det 110 poäng, minimikravet för att bli certifierad är 40 poäng och för bästa klassificeringen krävs 80 poäng (USGBC, u.å). Det finns även minimikrav som till exempel att energianvändningen skall vara 10 % lägre än miniminivån i ASHRAE. ASHRAE är en global branschorganisation inom energi och VVS.

### 2.10.4 BREEAM

BREEAM är ett miljöklassningssystem utvecklat av brittiska Building Research Establishment Ltd. (BRE). Likt LEED är avsikten med systemet att vara ett internationellt klassningssystem. BREEAM klassificerar både byggnaden som helhet, inklusive verksamhet i byggnaden, eller bara byggnaden (Bengt Dahlgren & CIT, 2013). Betygsskalan går från ”pass” till ”outstanding”. BREEAM klassificeras inom 10 huvudområden där olika delområden ingår. Certifieringsprocessen delas upp i två olika stadier för byggnaden. Den första bedömningen är preliminär och sker under projekteringsfasen för byggnaden och den andra är slutgiltig och bedöms när byggnaden är färdig.

## 2.11 Termisk tröghet

Byggnader delas in i tunga eller lätta konstruktioner beroende på stommens materialval och uppbyggnad. Definitionen används för beräkning av variation i temperatur under dygn och år. Måttet på den termiska trögheten hos en viss byggnad specificeras med  $t_c$ , termiska tidskonstanten. Den är kvoten mellan den volymetriska värmelagringskapaciteten och de totala konduktanserna (Sasic Kalagasidis, 2022). En lång termisk tidskonstant ger mindre variationer, då byggnaden lagrar mer värme i stommen än en byggnad med kort termisktidskonstant. Detta betyder också till att det krävs en högre effekt vid uppvärmning av en byggnad med lång termisk tidskonstant. En tung byggnad har lång termisktidskonstant medan en lätt byggnad har en kort tidskonstant.

## 2.12 Livscykelkostnad

Livscykelkostnad eller LCC är ett mått på vilka långsiktiga ekonomiska effekter en investering har. LCC är ett verktyg för att identifiera besparingspotentialen som finns för investeringar med potential för sänkta driftkostnader mot befintligt system eller produkt (Jernkontoret, u.å.). LCC tillämpas oftast på investeringar som är energikrävande. En livscykelkostnadsanalys är ett hjälpmedel för att göra en motiverad investering som långsiktigt är lönsam.

Något att ha i åtanke vid långsiktiga investeringar som hanterar energi, värme eller kyla är att driftkostnader tenderar att variera mellan år. På grund av detta antas ofta ett medelvärde på driftkostnader. Även inflation påverkar lönsamheten av en investering, för att ta hänsyn till det används nuvärdemetoden. I nuvärdemetoden används en nuvärdesfaktor som beaktar kalkylräntan under tid (Upphandlingsmyndigheten, u.å.). Nusummefaktorn beräknas enligt ekvation 5. Vidare beräknas den totala livscykelkostnaden enligt uttryck nedan.

$$Nusummefaktor = \frac{[1 - (1 + (0.01 * r_k))^{-n}]}{(0.01 * r_k)} \quad [\text{ekv. 5}]$$

$r_k$                       Kalkylräntan [%]  
 $n$                          Livslängd [år]

$$\begin{aligned} LCC_{tot} &= \text{investering} + LCC_{energi} + LCC_{underhåll} \text{ [kr]} \\ LCC_{energi} &= \text{årlig energikostnad} * Nusummefaktor \text{ [kr]} \\ LCC_{underhåll} &= \text{årlig underhållskostnad} * Nusummefaktor \text{ [kr]} \end{aligned}$$

### 3 Simuleringar och indata

I detta kapitel beskrivs vilka simuleringar som gjorts samt vilken indata som simuleringarna bygger på.

#### 3.1 Befintlig byggnad

För att skapa en IDA-modell för den befintliga byggnaden har U-värden som var aktuella under 90-talet tagits från *Energi i bebyggelsen* (Boverket, 2010). U-värdena har valts från den övre kvartilen för att efterlikna en byggnad med sämre byggstandard, se tabell 5. Stommen i huset är gjord i betong, med så kallade sandwichelement. Byggnaden har en uppvärmd area,  $A_{temp}$ , på 22 761  $m^2$  där 24 % av ytskiktet består av fönster.

Tabell 5. U-värden för byggnaden med 90-talsstandard.

U	$W/m^2K$
$U_{tak}$	0,13
$U_{vägg}$	0,3
$U_{golv}$	0,3
$U_{fönster}$	2
$U_{ytterdörr}$	1,2

Den befintliga byggnaden är försedd med ett värme- och kylsystem som förses med fjärrvärme och fjärrkyla. Det antas att systemet har kapacitet att täcka byggnadens behov. Byggnaden är även utrustad med ett CAV-system som är på mellan kl. 6-19 på vardagar. Ventilationssystemet i byggnaden har ett SFP på 2,4  $kW/m^2/s$  och intern återvinning med en verkningsgrad på 70 %.

##### 3.1.1 Internlaster och scheman

Vid beräkning av internlasterna i byggnaden har data i tabell 6 använts. För att mata in energianvändning för alla rum användes standardvärde från Sveby (2010) på 50  $kWh/m^2$  per år, som delades upp på belysning och utrustning. Med andelarna 25 % till belysning och 75 % till utrustning. I vissa zoner av byggnaden som har väldigt lite eller ingen utrustning sattes utrustning till att alltid vara avstängd.

Tabell 6. Indata personlaster enligt Sveby (Sveby, 2010).

Parameter	Data
Antal personer öppet kontor	20 $m^2/person$
Antal personer restaurang och kök	3 $m^2/person$
Antal personer konferens	3 $m^2/person$
Effekt per person	108 W
Årsschablon: Effekt från belysning och utrustning	50 $kWh/m^2$

Scheman för personer i byggnaden gjordes så att människor gradvis kommer in till kontoret på morgonen från kl. 6 till kl. 9 då det antas att alla är på plats. Minskade personlast under lunchen då det antas att delar av de som jobbar i byggnaden äter lunch utanför kontoret. Minskningen av personlast på eftermiddagen sattes också gradvis då det antas att alla som jobbar inte går hem samtidigt. Ett schema gjordes för matsalarna som antogs vara tomma under dagen förutom lunchen då de arbetande i

kontoren åter. Scheman gjordes även för belysning och utrustning med 100 % användning från kl. 6 till kl. 19 under vardagar. Utöver de tiderna är belysningen avstängd. Det antogs att belysning och utrustning är avstängt under helgar och helgdagar. Det antogs också att det inte befinner sig några människor i kontoren under helg och helgdagar. Efter all indata var inmatad gjordes en första simulering på kylbehov, värmebehov samt energianvändning. För att beräkna driftskostnaden för olika system och tekniska lösningar användes spotpriser från 2022 (Nordpool, 2023).

### 3.2 Förbättring av klimatskal

Den första förbättringsåtgärden som undersöktes var förbättring av klimatskal. Först testades ett klimatskal enligt BBR:s standard och därefter ett klimatskal med bättre U-värden, vilket benämns förbättrat klimatskal, se tabell 3 och 4. Även SFP samt verkningsgrad för värmeåtervinnare förbättrades något. För BBR-huset har ett något bättre U-värde för fönsterna valts. Detta eftersom standardfönster på marknaden överstiger BBR:s krav på värmegenomsläpplighet.

Tabell 7. U-värden enligt BBR (BFS, 2011:6)

$U$	$W/m^2K$
$U_{tak}$	0,13
$U_{vägg}$	0,18
$U_{golv}$	0,15
$U_{fönster}$	1,0
$U_{ytterdörr}$	1,0

För BBR huset sattes SFP till  $1,5 \text{ kW}/m^2/s$  och verkningsgraden på värmeåtervinnaren,  $\eta$ , till 80 %.

Tabell 8. U-värden för det förbättrade klimatskalet (Pilkington, 2021) (Energikontor Syd, u.å) (Rockwool, u.å).

$U$	$W/m^2K$
$U_{tak}$	0,08
$U_{vägg}$	0,14
$U_{golv}$	0,11
$U_{fönster}$	0,5
$U_{ytterdörr}$	1,0

För huset med förbättrade U-värden sattes SFP till  $1,3 \text{ kW}/m^2/s$  och verkningsgraden till 85 %.

### 3.3 Värme- och kylsystem

För att undersöka resultatet av olika energikällor testades tre system vid beräkning av primärenergital. De olika energisystem som testades var fjärrvärme och fjärrkyla, fjärrvärme och fjärrkyla med intern värmeåtervinning, samt geoenergi med intern återvinning. Intern värmeåtervinning används när värme- och kylbehov sammanfaller.

#### 3.3.1 Fjärrenergi

Det antogs att kapaciteten i fjärrvärmecentral är tillräcklig för att tillgodose hela husets värmeeffektbehov. I byggnaden finns även ett fjärrkylsystem som tillgodoser byggnadens kylbehov, även här antogs kapaciteten täcka behovet.

#### 3.3.2 Geoenergi

Givet att byggnaden har en bottenarea på ca 4000  $m^2$  och avståndet mellan borrhålen antogs kunna vara 15 m kan 24 borrhål förväntas få plats under byggnaden. Vid beräkning antogs borrhålen uppnå 250 m. För att beräkna värmeeffekten samt kyleffekt med geoenergi antogs ett COP på 4 och EER till 2,7, enligt T Antonsson (Personlig kommunikation, 21 mars 2023). Det antogs även att energiprestandan för återvinningspumpen var 6.

Installation av bergvärme medför en kostnad för borrhning samt rörinstallation. Borrhning kostar ca 400 kr/m och rör 2000 kr per kW (Hemming, 2023). Utöver installationen krävs bergvärmepumpar för att utvinna energin. Till detta arbete valdes en bergvärmepump från NIBE, NIBE F1345-60 (NIBE, u.åa), som kostar ca 300 000 kr. Vid beräkning valdes dock en kostnad på 3000 kr/kW eftersom det bättre motsvarar det marknadspriser (T. Antonsson, Personlig kommunikation, 12 april 2023)

För att beräkna kostnaden för frikyla krävs mer information om systemet. Det antogs att kylmediet i frikylepumpen är 35 procentig ”kilfrost” från Muovitech (Muovitech, u.å.). Från de 24 borrhålen kan en kyleffekt på 240 kW hämtas, med detta som grund kräver systemet ett flöde på 22 l/s och ett tryckfall på 140 kPa (T. Antonsson, Personlig kommunikation, 14 april 2023). Vidare används Grunfos dimensioneringsprogram (u.å.) för att hitta en pump (TPE 80–240). Därefter hämtades effekt och årlig elförbrukning från leverantör.

### 3.4 Solavskärmning

För att minska kylbehovet i byggnaden testades effekten av solavskärmning. Vid simulering av solavskärmning användes utåt flikande markisoletter på första plan och platta markisoletter på ovanliggande plan, se Figur 14. Solavskärmningen styrs av solintensiteten, när intensiteten blir högre än  $250 W/m^2$  på utsidan av fönsteret fälls de ner.



Figur 14. Illustration av markisoletter på byggnaden (Hämtad ur IDA ICE).

### 3.5 VAV-system

För att inte överdimensionera ventilationssystemet dimensionerades tilluften med ett VAV-system i byggnaden. VAV-systemet dimensionerades olika beroende på användningsområde. I de rum där behovet antogs variera under dagen, exempelvis konferensrum, sattes ett schema när rummen används mellan kl. 9 – 12 varje dag. Även matsalen antogs ha ett varierande behov och är i fullt bruk under lunchen men tomt övriga timmar av dagen. I övriga delar av kontorsbyggnaden ansattes också VAV utifrån användning.

### 3.6 Effektreducering vid högt elpris

Energipristoppar kan ha en stor påverkan på driftskostnaden för en stor byggnad under ett år. Till följd av detta undersöktes om byggnadens effektanvändning kan reduceras när elpriset är högt. För att säkert veta om en effektreducering är möjlig matchades den lägsta utetemperaturen mot en period med högt elpris enligt Nordpools data. För dessa simuleringar valdes en simuleringsperiod på en vecka. I simuleringar testades olika effektsänkingsgrader som sedan utvärderades utifrån den operativa temperaturen i byggnaden.

### 3.7 Batterilagring

För att undersöka om energilagring kan tillämpas på byggnaden i arbetet testades batterilagring. För att kunna tillämpa batterilagring för byggnaden krävs en hög lagringskapacitet. Det är dock inte gynnsamt att ha batterier som kan täcka det högsta behovet eftersom batteriet då blir överdimensionerat övriga timmar. Därmed testades olika batterilagring kapaciteter från 50 % av maximalt energiöverskott under en dag och nedåt. De lagringskapaciteter som testats var 700, 350 och 150 kWh. Analysen av deras lönsamhet gjordes i en byggnad med geoenergianläggning och solceller. Man beräknade sedan hur mycket batterierna kan laddas upp med solenergi och när den lagrade energin kan användas till behovet.

Vidare användes två energilagringsstrategier för att utvärdera lönsamheten i batterilagringen. Dessa metoder är uppladdning med hjälp av solceller och peak shaving. Om laddning med solenergi främst ska användas lagras solenergin som kemisk energi i batterierna, för att sedan användas vid behov. Beroende på effektkapacitet hos solcellerna. Peak shaving går ut på att ladda upp batterierna med köpt energi när den är billig för att använda när den är dyr. Denna metod beskrivs i Kapitel 2.7 Energilagring. I samband med peak shaving säljs den producerade solenergin, för att med vinsten kunna köpa in energi vid behov.

### 3.8 LCC

För att beräkna driftpriser för elenergi användes Nordpools spotprishistorik för varje timme under året 2022. Ytterligare tillkommer nätavgifter, elskatt samt moms, vilket ger ett årsmedelvärde på 2,8 *sek/kWh* (Skatteverket, u.å.).

#### Tilläggsisolering

För LCC beräkningar av tilläggsisolering har olika källor med kostnader jämförts. Det visar sig att det finns en stor variation på antagna kostnader. Bodin (2014) menar att kostnaden att tilläggsisolera är 143 *kr/m<sup>2</sup>*. Priset måste justeras upp både på grund av inflation och med hänsyn till att priset på byggnadsmaterial har stigit. Korrigering av priset med hänsyn till inflation gjordes med en räknedur och 143 *kr/m<sup>2</sup>* justerat för inflation från maj 2014 till februari 2023 blev 26,05 % eller ca 180 *kr/m<sup>2</sup>* (Statistikmyndigheten, u.d.). Därefter valdes ett pålägg till den justerade talet med en prisökning på 25 %, då byggnadsmaterial har ökat i pris, vilket ger ett slutgiltigt pris på ca 225,7 *kr/m<sup>2</sup>*.

Enligt Byggstart (2023) är kostnaden för att tilläggsisolera fasad mellan 1 300 och 2 500 *kr/m<sup>2</sup>*. Detta antas vara ett rimligare pris än Bodin (2014) då det bättre stämmer överens med andra källor. Med ovan som grund antogs en kostnad på 2000 *kr/m<sup>2</sup>* för tilläggsisolering av klimatskalet till BBR:s krav. För beräkning av kostnaden av tilläggsisolering till förbättrat klimatskal antogs en kostnad på 3000 *kr/m<sup>2</sup>*.

#### Livslängder

Den tekniska livslängden för olika installationer varierar men brukar ligga kring 20 år, de kan dock vara fungerande längre än så (Westerberg, 2017). Efter den tekniska livslängden krävs mer underhåll, vilket gör att det kan vara fördelaktigt att byta. Under livslängden utvecklas även tekniken och tenderar att bli bättre, därmed en anledning att förnya. I tabell 9 redovisas livslängder som används vid beräkningar för olika komponenter.

Tabell 9. Livslängd för byggnadsdelar och tekniska system (Westerberg, 2017).

Komponent	Livslängd [år]
Fjärrvärmesystem	30
Bergvärmesystem	30
Solceller	20
Batterilagring	10
Klimatskal	50

Livslängden för batterier benämns ofta med antalet laddningscykler alltså hur många gånger batteriet kan laddas upp och laddas ur (Hemsol, u.å.). Beroende på hur stor del av batteriets kapacitet som används ändras även livslängden, ju större andel av batteriets kapacitet som laddas desto kortare livslängd. Batterier som endast laddas till 20 % kapacitet kan ha en livslängd på strax över 60 år medan batterier som laddas till 100 % kapacitet har en livslängd på ca 5 år.

### **Kalkylränta**

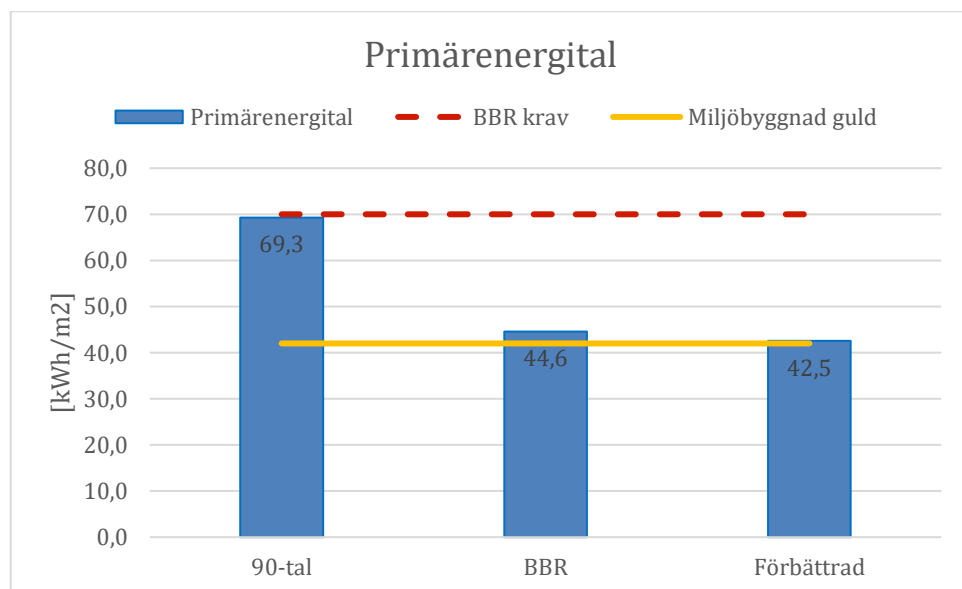
Vid beräkning antas en kalkylränta utifrån dagens ekonomiska läge. När arbetet skrivs, våren 2023, har styrräntan ökat från 0 % till 3,5 % på mindre än ett år (Riksbanken, 2023). Till följd av detta och det osäkra ekonomiska läget är kalkylräntan svårbestämd. I detta arbete väljs kalkylräntan till 5 %.

## 4 Resultat

I detta kapitel redovisas resultat av de olika åtgärderna som har testats på modellen. Resultaten hämtas både direkt från IDA ICE som gör egna simuleringar samt egna beräkningar som utförts i Excel med data som hämtats ur IDA. Data om värme, kyla, elförbrukning och tappvattnets energianvändning hämtades och sammanställdes. Därefter användes data för att ta fram primärenergital som användes som baslinjen för energianvändningen för fastigheten för resterande simuleringar.

### 4.1 Simulering klimatskal

I Figur 15 redovisas primärenergitalen för de olika klimatskärmarna som testats. Energikällan som används är fjärrvärme och fjärrkyla. Primärenergitalet för den ursprungliga modellen beräknades till  $69,3 \text{ kWh/m}^2$ . Vid förbättring av klimatskalet minskar primärenergitalet till  $44,6$  respektive  $42,5 \text{ kWh/m}^2$ .



Figur 15. Redovisning av primärenergital för olika klimatskärmarna.

En livscykelkostnadsanalys utfördes även för de olika klimatskärmarna, se Bilaga. Resultatet visar att klimatskärmen enligt BBR:s krav ger den lägsta livscykelkostnaden.

### 4.2 Värme- och kylsystem

I följande kapitel presenteras energiprestandan för olika värme- och kylsystem för de olika klimatskalen. Även beräkningar för driftkostnad samt hur den minskar efter olika åtgärder redovisas.

I tabell 10, 11 och 12 redovisas primärenergital för de olika klimatsystemen med de tre olika värme- och kylsystemen. Resultatet visar tydligt att geoenergi är lönsammast ur ett energiperspektiv, primärenergitalen minskar också till följd av att bättre klimatskal appliceras.

Tabell 10. Primärenergital för byggnad med 90-talsstandard med olika energikällor.

90-tal	Primärenergital (kWh/Atemp)
Fjärrenergi	69,3
Fjärrenergi med ÅV	68,5
Geoenergi	48,7

Tabell 11. Variation av primärenergital för olika typer av energikälla för BBR-huset.

BBR	Primärenergital (kWh/Atemp)
Fjärrenergi	44,6
Fjärrenergi med ÅV	44,2
Geoenergi	30,9

Tabell 12. Primärenergital för olika energislag i den förbättrade byggnaden.

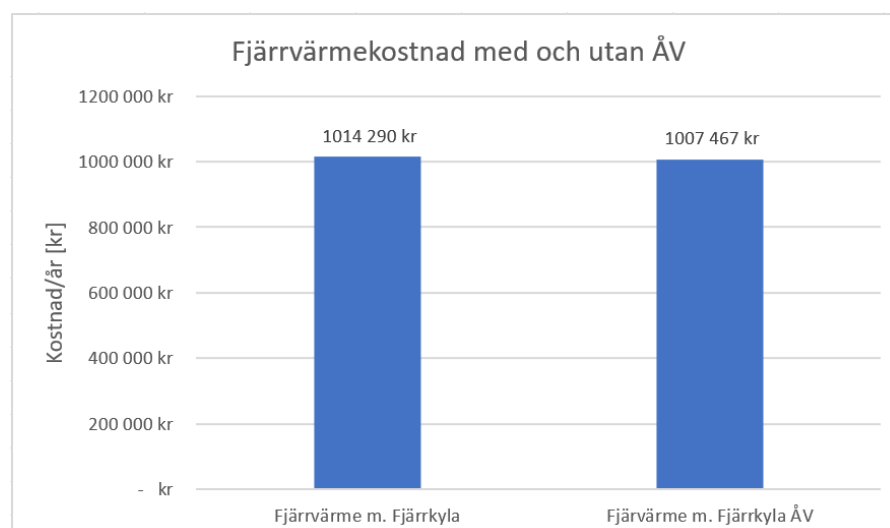
Förbättrad	Primärenergital (kWh/Atemp)
Fjärrenergi	42,5
Fjärrenergi med ÅV	41,1
Geoenergi	26,6

#### 4.2.1 Kostnadskalkyl fjärrvärme och fjärrkyla

Kostnaden för fjärrvärme i första modellen, byggnaden med 90-tals standard, blev 850 000 kr enligt Bilaga 1. Kostnaden för fjärrkyla blev efter beräkning enligt Göteborg Energis beräkningsmodell ca 670 000 kr. Den totala kostnaden för fjärrvärme och fjärrkyla blev därmed 1 520 000 kr för 90-tals huset.

För byggnaden med BBR standard har samma typ av beräkningar gjorts. Kostnaden för fjärrvärmen blev 490 490 kr, se bilaga 2. Kostnaden för fjärrkylan under ett år blev ca 523 800 kr. Den totala kostnaden blir då ca 1 014 000 kr vilket är en minskning på 500 000 kr/år jämfört med 90-tals huset.

Kostnaden för fjärrvärme och fjärrkyla med en intern återvinningspump i byggnaden med BBR standard blir 1 007 000 kr. I Figur 16 jämförs kostnaden för fjärrvärme med och utan inter återvinnare, där man ser att skillnaden är marginell.



Figur 16. Jämförelse av kostnad/år för fjärrvärme med och utan ÅV i BBR-huset.

## 4.2.2 Kostnadskalkyl Geoenergi

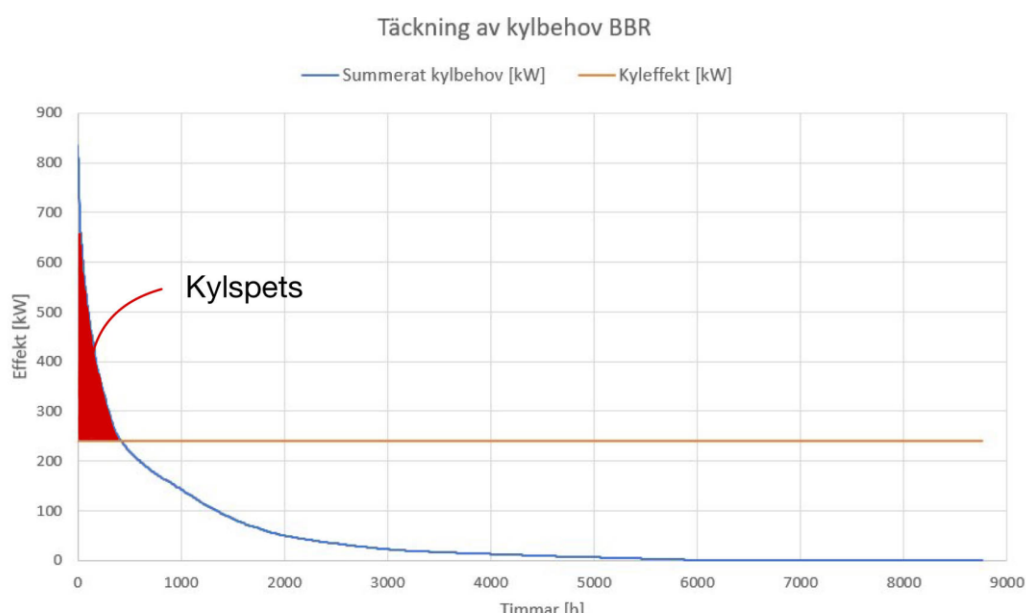
I tabell 13 redovisas resultat för beräkning av driftskostnaden för bergvärmepump med frikyla i BBR-byggnaden. För intern återvinning med hjälp av kylavandningens värmeproduktion krävs en återvinningspump som tar vara på spillvärmen. En kostnadskalkyl gjordes även för att driva bergvärmepumpen under ett år. Driftskostnaden för bergvärmepumpen beräknades även för byggnaden med förbättrat klimatskal. Resultatet blev ungefär en halvering av driftskostnaden.

Tabell 13. Kostnad för att driva bergvärmepumpen.

	<b>BBR</b>
Driftkostnad återvinningspump [SEK]	4 280
Driftkostnad bergvärmepump [SEK]	148 400
<b>Total driftkostnad bergvärme [SEK]</b>	<b>152 680</b>
<b>Total driftkostnad frikylepump [SEK]</b>	<b>42 300</b>
<b>Total kostnad [SEK]</b>	<b>194 980</b>

## 4.2.3 Täckningsgrad frikyla

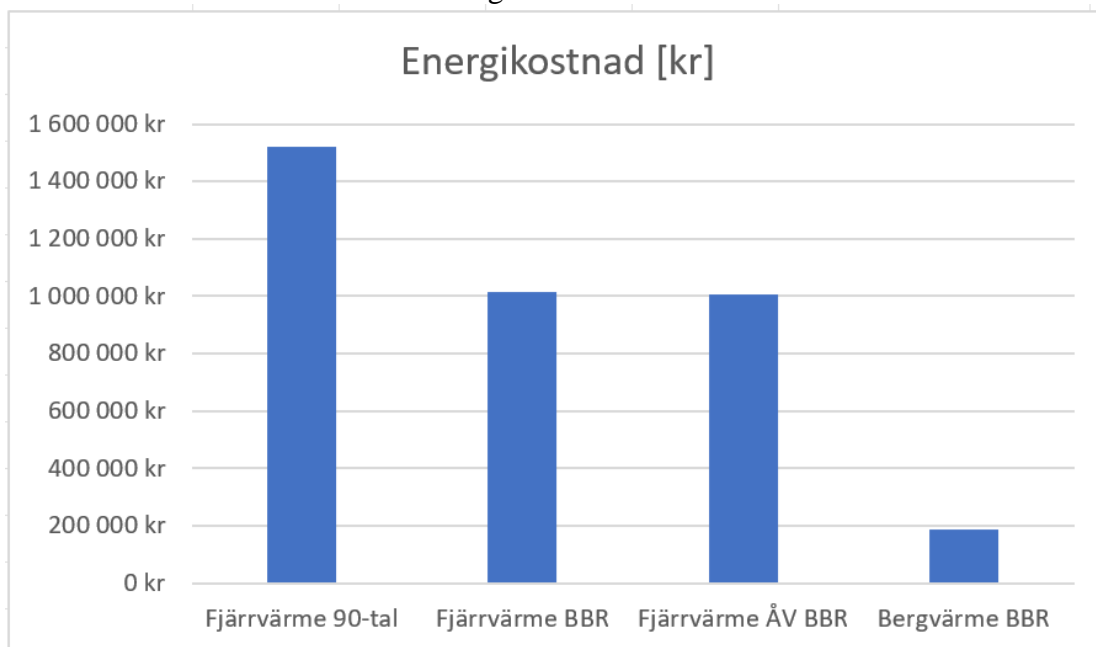
För att kunna använda sig av geoenergi krävs att tillgången av energi överensstämmer med behovet. I detta fall räcker bergvärmen för att täcka värmebehovet men frikylan som går att utvinna täcker inte kylbehovet. Därmed är kylbehovet de dimensionerande i denna byggnad. Vidare görs beräkningar på energitäckningsgraden för kylbehovet. Enligt beräkningar av tillgänglig kyleffekt från borrhål i BBR huset ser vi att kylbehovet har en effekttäckningsgrad på 29 % och energitäckningsgrad på 84 %. Detta innebär att man har ett behov av köpt kyla 424 timmar om året, se Figur 17. För att täcka kylspetsen används en kylmaskin med EER 2,7 som ger en årskostnad på ca 73 000 kr.



Figur 17. Effekttäckning av kylbehovet i BBR byggnad med frikyla.

## Total förbättring

I Figur 18 illustreras driftskostnaden för värme och kyla med olika system och hur kostnaden har förändrats med olika åtgärder.



Figur 18. Figuren visar hur mycket driftskostnaden för värme och kyla minskar med olika åtgärder.

## 4.3 Solavskärmning och VAV

Att tillämpa solavskärmning och VAV-system visar sig ha ungefär lika stor påverkan på primärenergitalet. Åtgärderna blir en minskning av primärenergital på 1,6 respektive  $2 \text{ kWh/m}^2$  för BBR klimatskalet. För det förbättrade klimatskalet blir minskningen något större, se tabell 14 och 15. Man ser även att solavskärmning minskar kylbehovet med  $3,4 \text{ kWh/m}^2$  samt ökar värmebehovet. Medan VAV-systemet ökar kylbehovet.

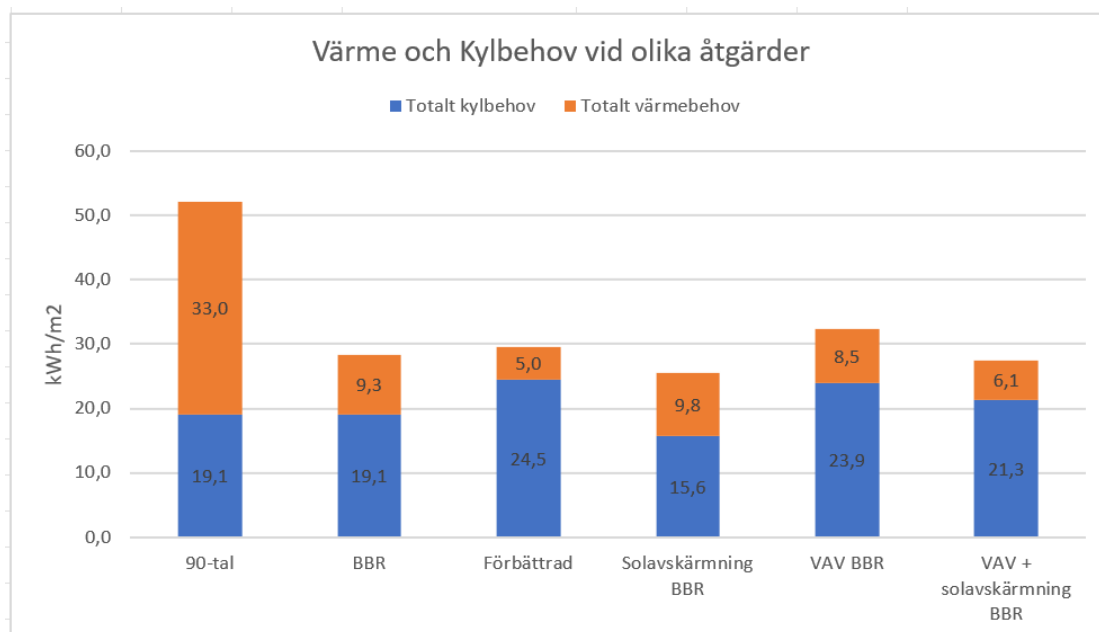
Tabell 14. Primärenergital utan och med solavskärmning.

Primärenergital $[\text{kWh/m}^2]$		
	BBR	Förbättrad
Utan solavskärmning	44,6	42,5
Med solavskärmning	43,0	40,5

Tabell 15. Primärenergital med CAV- och VAV-system.

Primärenergital $[\text{kWh/m}^2]$		
	BBR	Förbättrad
CAV-system	44,6	42,5
VAV-system	42,6	40,1

Man undersökte även möjligheten att tillämpa solavskärmning och VAV samtidigt. Detta resulterade i ett primärenergital på  $38,5 \text{ kWh/m}^2$ . Vid kombination av solavskärmning och VAV minskar värmebehovet. Kylbehovet ökar i jämförelse med endast solavskärmning men minskar i jämförelse med VAV, se Figur 19.



Figur 19. Förändring av värme och kylbehov vid olika åtgärder.

## 4.4 Effektreducering

Vid analys av olika effektsänkingsgrader fann man att det är möjligt att sänka effekten på bergvärmerna till 40% och samtidigt hålla ett gott termiskt klimat. Med denna åtgärd minskar kostnaden för energin med 27% under den valda perioden, se tabell 16.

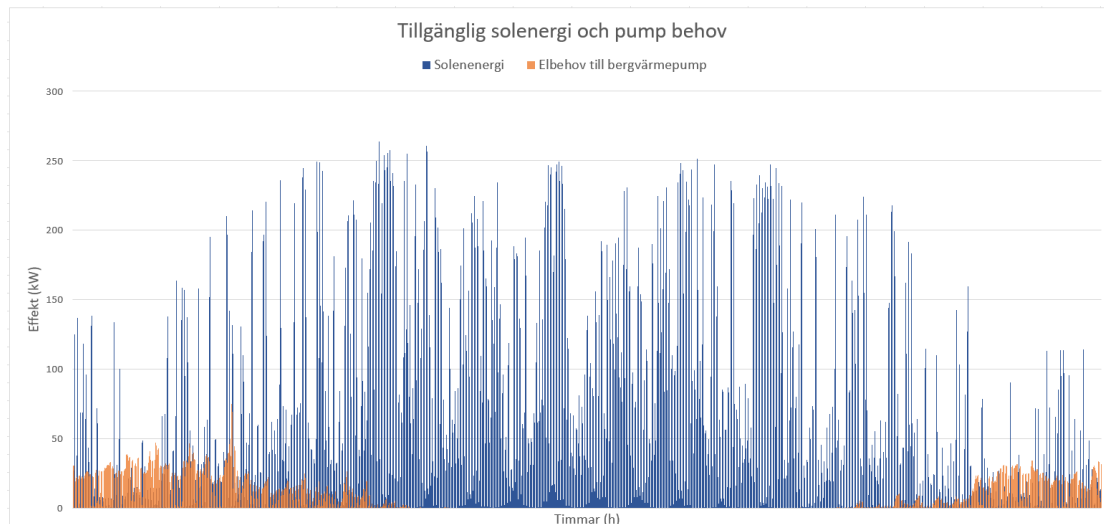
Tabell 16. Tabellen visar energikostnad för bergvärme under en vecka i januari.

Effekt	Pris [sek]	Min Temp [C°]
100%	4 081	20,8
50%	3 891	20,6
40%	2 837	20,4
30%	2 792	19,0

## 4.5 Solceller

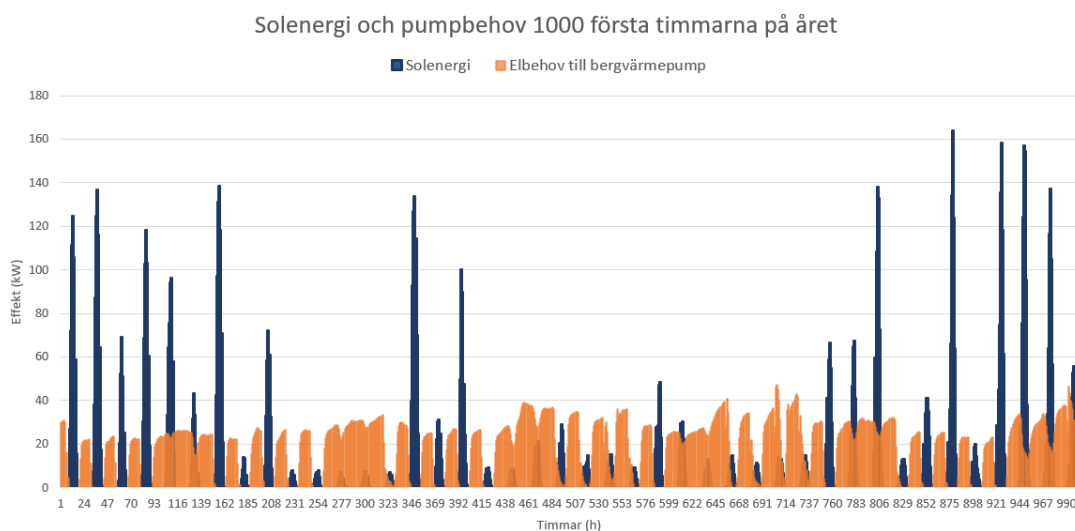
Vid beräkning av den genererade elproduktionen från solcellerna, se Bilaga 3, blir möjlig produktion av el ca  $260 \text{ MWh/år}$ . Detta förutsätter att hela taket på byggnaden förses med solceller som är vinklade 45 grader mot söder. Om den genererade energin hade köpts med elpriser från 2022 hade kostnaden blivit ca 732 000 kr.

För att få en bild över hur solenergin kan användas till bergvärmepumpen har ett diagram som visar tillgängligsolenergi och elbehovet till pumpen tagits fram. I Figur 20 redovisas data för hela året, man kan se att solenergin inte matchar med behovet.



Figur 20. Diagram över tillgänglig solenergi och behov av el till bergvärmepumpen under årets alla timmar.

För att tydligare se hur solenergin och elbehovet skiljer sig har ett diagram för årets 1000 första timmar tagits fram, Figur 21. I diagrammet ser man att solenergitopparna är högre än behovet men inte täcker det regelbundna behovet. Något som bör beaktas är att diagrammet visar en period under vintern då elbehovet till värmepumpen är högt.



Figur 21. Diagram över tillgänglig solenergi och behov av el till bergvärmepumpen under årets 100 första timmar.

## 4.6 Batterilagring

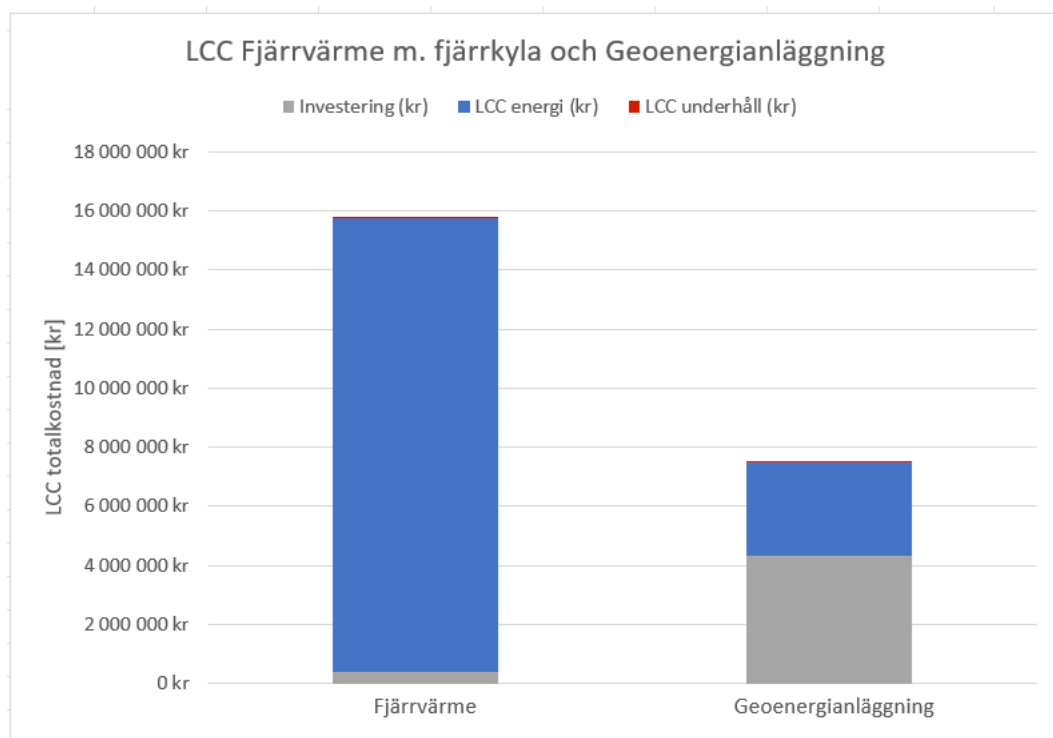
Det årliga energibehovet per  $A_{temp}$  för de tre batterierna är  $13,7 \text{ kWh/m}^2$ . Solcellerna producerar årligen  $12,7 \text{ kWh/m}^2$ . I tabell 17 redovisas resultatet av resultatet på batterilagringen.

Tabell 17. Resultat för batterilagring med olika kapaciteter.

Kapacitet	Inga batterier	150 kWh	350 kWh	700 kWh
Årlig uttagen energi ur batteri [ $kWh/m^2$ ]	-	1,4	2,4	3,1
Återstående behov med direktanvänd solenergi inräknad [ $kWh/m^2$ ]		6,6	5,6	4,9
Solenergi som säljs tillbaka på elnätet [ $kWh/m^2$ ]		5,6	4,6	3,9
Driftskostnad [kr]	271 000	230 500	200 200	180 580
Investeringskostnad batterilagring [kr]	-	1 050 500	2 436 500	4 862 000

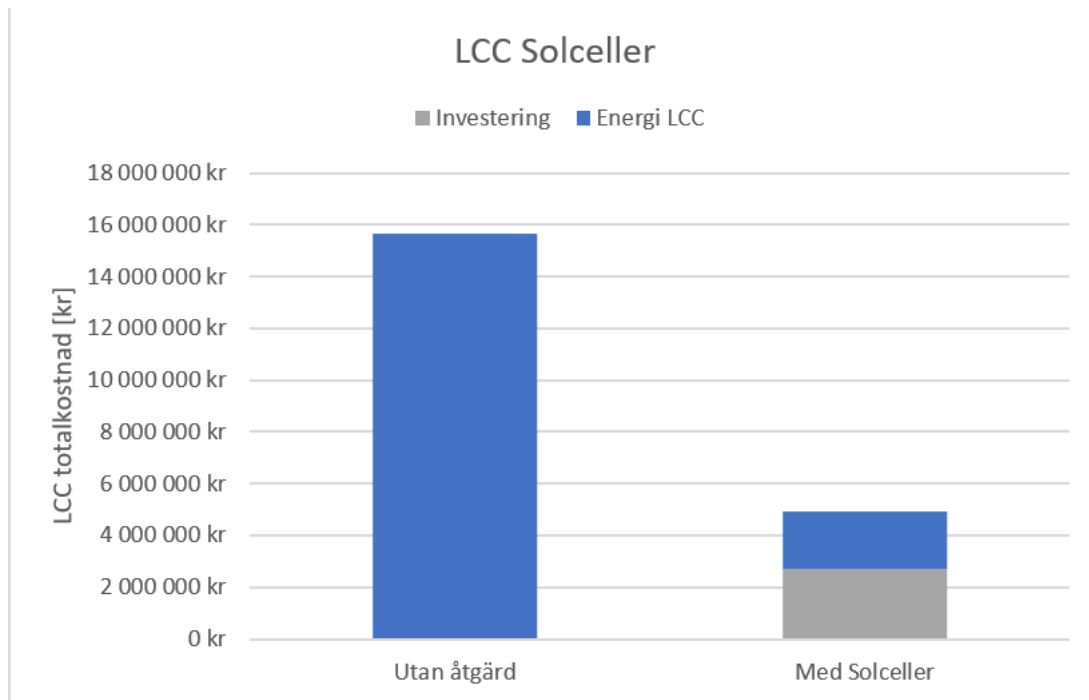
## 4.7 Livscykelkostnadsberäkningar

För att utvärdera lönsamheten för de olika investeringarna har LCC-beräkningar utförts. I Figur 22 redovisas resultatet av livscykelkostnadsberäkningar som utförts på fjärrvärme och en geoenergianläggning. Eftersom det antas att byggnaden redan har installerad fjärrvärme jämförs en reinvestering i fjärrvärme, där kostnad för uppdatering av tekniskt system ingår, med en nyinvestering i bergvärme.



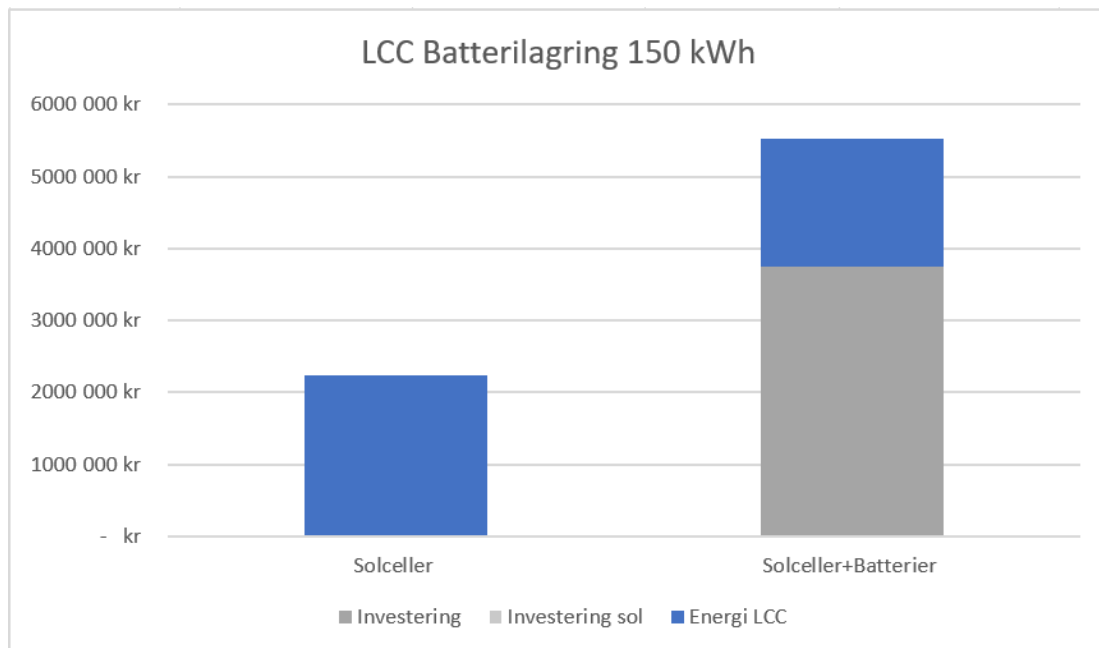
Figur 22. LCC-analys för fjärrvärme och bergvärme.

En livscykelkostnadsanalys utfördes även på solceller och i dessa beräkningar fann man att investering i solceller är fördelaktigt, se Figur 23. I beräkningarna antas den producerade solenergin som inte direkt kan användas säljas. Energikostnaden beräknas sedan enligt inköpt energi minus vinst på såld energi.



Figur 23. LCC-analys av solceller.

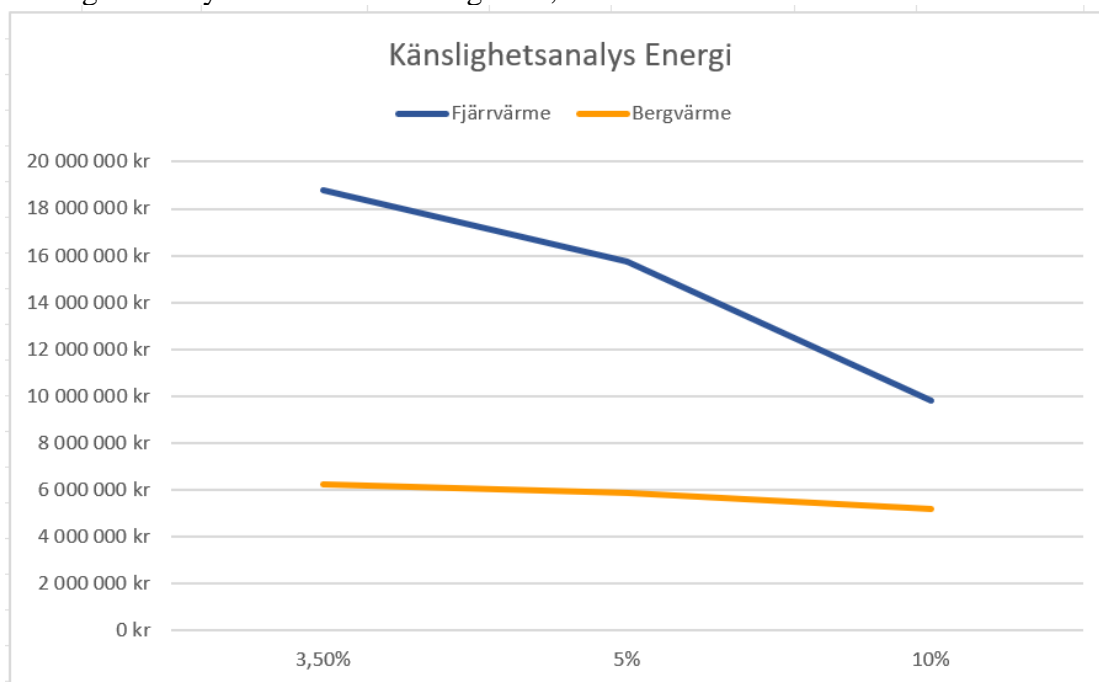
För att utvärdera möjligheten till batterilagring utförs en LLC-analys för batterier. För dessa beräkningar väljs ett batterilagringssystem med kapacitet på 150 kWh. Detta eftersom ett system med högre kapacitet medför en hög investeringskostnad jämfört med energikostnaden man sparar. Resultatet av LCC-beräkningarna visas i Figur 24, där man ser att livskostnaden för batterier och solceller blir högre än för endast solceller. I LCC beräkningarna antogs att det finns befintliga solceller installerade.



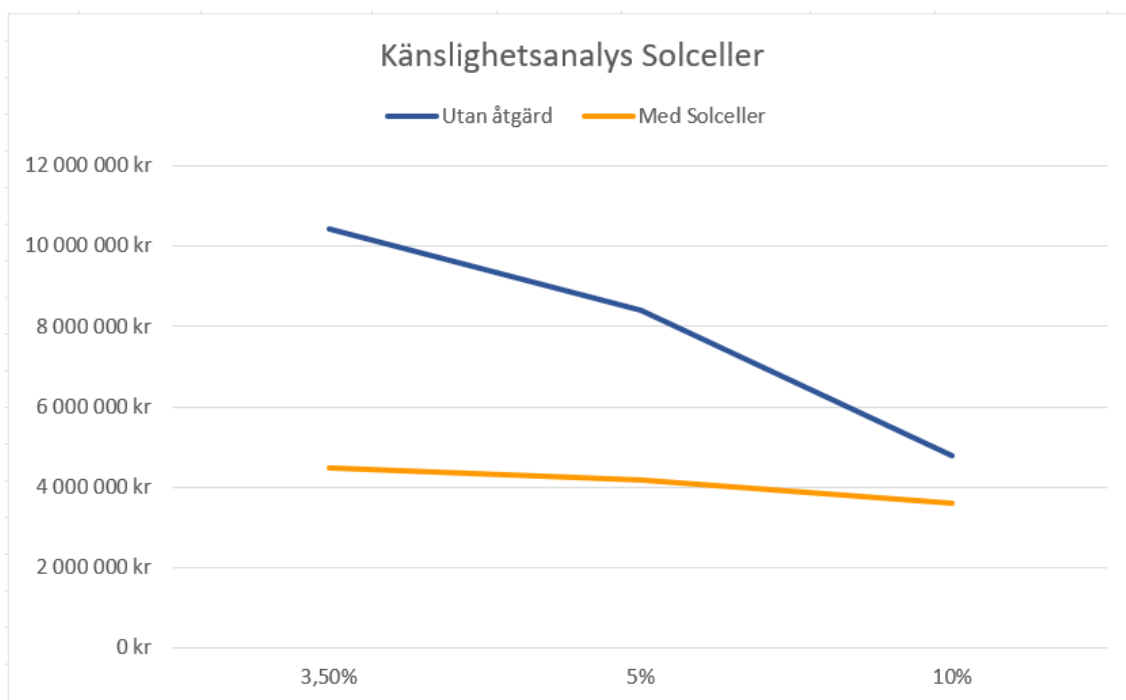
Figur 24. LCC-analys av batterilagring med 150 kWh.

### 4.7.1 Känslighetsanalyser

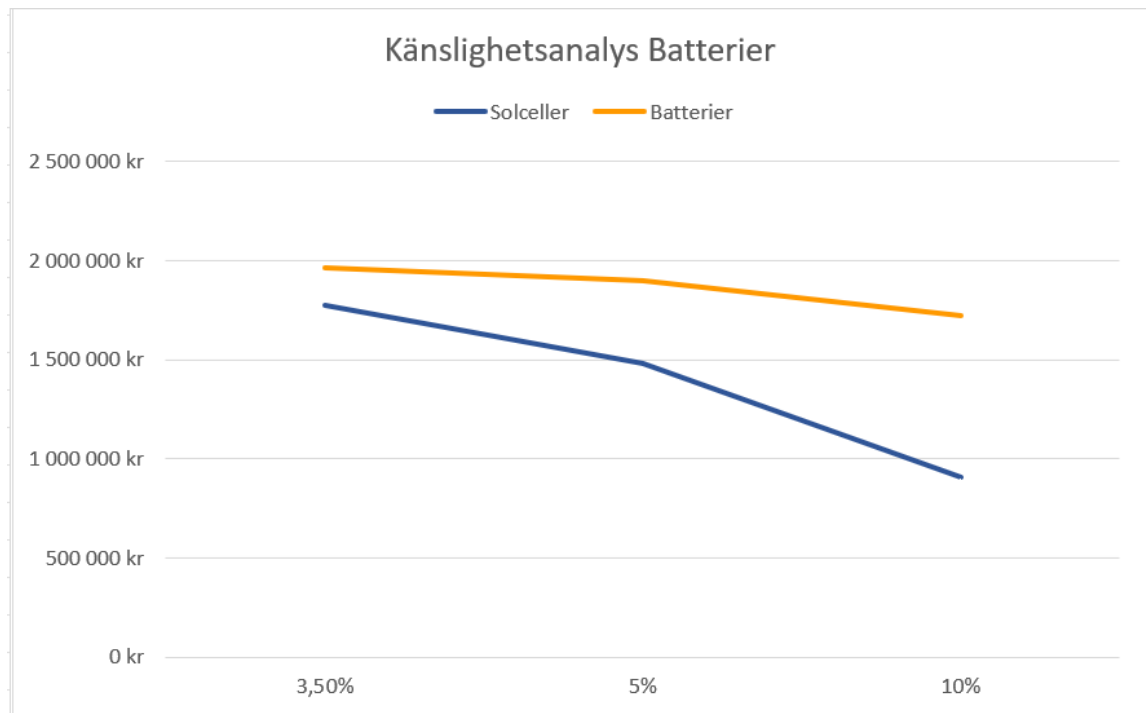
För att utvärdera investeringarnas känslighet för varierande kalkylränta utfördes känslighetsanalyser för tre olika kalkylräntor, 3,5, 5 och 10 %. Resultatet av känslighetsanalyserna redovisas i Figur 25, 26 och 27.



Figur 25. Känslighetsanalys för olika energislag.



Figur 26. Känslighetsanalys för solceller.



Figur 27. Känslighetsanalys för batterilagring.

## 5 Diskussion

I detta kapitel diskuteras resultaten av de olika åtgärder som gjorts. I diskussionen tillkommer även ett resonemang kring vilken åtgärd som är lönsammast.

### 5.1 Förbättring av klimatskal

I resultaten erhöles en tydlig förbättring av primärenergitalet från 90-tals standard till dagens krav enligt BBR. Vid ytterligare förbättringar av klimatskalets U-värden var förbättringen i primärenergitalet inte lika stor. Då förbättringen är liten och kostnaden för ytterligare förbättring är stor ses inte detta som en ekonomiskt försvarbar förbättring. Istället för att investera pengar i förbättring av klimatskalet ytterligare kan det vara fördelaktigare att investera i andra tekniska lösningar, som potentiellt har större påverkan per investerad krona.

Man ser även att kylbehovet ökar betydligt vid ett förbättrat klimatskal jämfört med BBR standard. Detta är förväntat då ett förbättrat klimatskal har bättre isoleringsförmåga vilket minskar överföringsförmågan av värme till omgivningen. Under de varma delarna av året kan detta vara problematiskt eftersom kylbehovet ökar. I byggnaden som studeras bedrivs kontorsverksamhet som medför stora kylbehov. Därmed anses en investering till U-värden enligt BBR:s krav vara tillräcklig. En åtgärd som kan vara möjlig för att minska energianvändningen ytterligare är installation av fönster med bättre G-värden. Fönster med förbättrade G-värden minskar transmissionen av värme från solen vilket sänker kylbehovet.

### 5.2 Värme- och kylsystem

Vid utvärdering av de tre olika värme- och kylsystemen är det tydligt att geoenergi är effektivast. Att investera i en intern återvinningspump i fjärrvärmesystemet sänker driftskostnaden med 7 000 kr per år, vilket är en marginell minskning. Den låga minskningen beror på att värme- och kylbehovet sällan sammanfaller. Därmed kan väldigt lite värme från kylan återanvändas. Om man istället investerar i en geoenergianläggning minskar driftskostnaden med 795 000 kr/år. Fördelen med geoenergi visar sig även i primärenergitalen där det minskar med  $13,8 \text{ kWh/m}^2$  för BBR-huset.

En ytterligare fördel med en geoenergianläggning är frikyla som kan hämtas ur systemet för en mycket låg kostnad. Om man jämför kostnaden för frikyla med kostnaden för fjärrkyla ser man en stor skillnad. I ett fjärrkylesystem är kostnaden för kyla och värme är ungefär lika stora, men för geoenergin skiljer sig kostnaderna mycket. Den frikyla som kan plockas ut ur systemet är lägre än behovet i byggnaden, 424 timmar är behovet högre än tillgången, därmed behöver systemet kompletteras. I beräkningar antas en kylmaskin som kan täcka kylspetsen vara inkopplad i systemet. Ett alternativ är att förbättra systemets prestanda ytterligare för att undvika en kylspets. Kylspetsen antas sammanfalla då mycket solenergi produceras vilket medför att kylmaskinen kan drivas med solel, vilket gör att driftskostnaden för kylmaskinen kan tillgodoräknas.

Ett problem som kan uppstå till följd av att kylbehovet är högre än värmebehovet är att berget kan "värms upp". Om man under en längre tid plockar ut mer frikyla än bergvärme ökar temperaturen i berget vilket kan göra att man inte längre kan hämta

kyla. När och om detta problem uppstår är inte säkert men det är något man bör ha i åtanke.

Även LCC-analysen visar att en geoenergianläggning, trots att grundinvesteringen i ett sådant system är stor, är gynnsammast ur ett livscykelkostnadsperspektiv. På grund av detta samt att bergvärme med frikyla har en lägre driftkostnad anses det som det bästa alternativet för att minska energikostnaden i byggnaden. Med ovan som grund ses geoenergi som den lämpligaste och lönsammaste energikällan i denna byggnad.

Detta arbete har fokuserat på en energistrategi med minskad kostnad som mål. Till följd av detta visar det sig att geoenergi är den mest lönsamma energikällan. Om man hade valt en energistrategi där man vill minska behovet av köpt energi kan ett fjärrvärme- och fjärrkylesystem med intern återvinningspump vara gynnsamt.

### 5.3 Solavskärmning och VAV

I resultatet ser man att tillämpning av solavskärmning minskar kylbehovet i byggnaden vilket leder till en minskning i primärenergital. Åtgärden leder också till att värmebehovet ökar. Att kylbehovet minskar beror på att solavskärmningen begränsar solinstrålningens möjlighet att värma upp byggnaden. Vidare får byggnaden även en lägre kylspets jämfört med byggnad utan solavskärmning, om solavskärmningen kombineras med frikyla, det vill säga antalet timmar som inte täcks av frikyla minskar. Jämfört med byggnaden utan solavskärmning minskar solavskärmning behovet av köpt kyla från 41 000 till 32 000 *kWh*/år. Detta är en av anledningarna till att solavskärmning bör tillämpas. En ytterligare anledning är att solavskärmning skapar en bättre arbetsmiljö. Eftersom byggnaden är avsedd för kontorsarbete bör detta beaktas. Utan solavskärmning kan solen bli ett störningsmoment för de arbetande om solen lyser in och reflekteras i datorer.

Installation av variabelt luftflöde ger en större minskning av primärenergitalet än solavskärmning. Möjligheten att reglera tilluftsflödet är en fördel i de rum med varierande mänsklig aktivitet, som exempelvis konferensrum. Detta eftersom denna typ av rum kräver en hög komfort samt har en ojämn belastning. VAV-system ger möjligheten att minska eller öka tilluftsflödet i dessa rum vid behov utan att flödet i andra rum påverkas. Installation av ett VAV-system ger ett ökat kylbehov. Detta kan bero på att ett VAV-system ger ett högre komfortflöde än ett CAV-system eftersom det anpassas bättre efter behov. Inställningarna för det variabla luftflödet i simuleringarna är en grov förenkling för hur man kan tänka sig att verkligheten ser ut. Därmed kan den verkliga nyttan av ett VAV-system vara bättre eller sämre beroende på den verkliga belastningen. En annan förklaring är att personlasterna överskattades vid simulering.

Solavskärmning och VAV tillsammans ger ett kylbehov som ungefär motsvarar medelvärde mellan de två åtgärderna separat. Kombinationen av de två åtgärderna ger också ett minskat värmebehov. Den kombinerade simuleringen ger ett lägre primärenergital, jämfört med åtgärderna separat. Detta till följd av att åtgärderna tillsammans ger ett lägre värmebehov.

Investering i solavskärmning ses som lämpligt då det är positivt ur ett energiperspektiv samt bidra till en bättre arbetsmiljö. Huruvida ett VAV-system bör

installeras är dock inte lika självklart. Eftersom installationen ökar kylbehovet som är det dimensionerande i denna byggnad kan det vara olönsamt. När solavskärmning och VAV kombineras blir kylbehovet högre än i byggnaden utan VAV eller solavskärmning. Att installera ett VAV-system kan däremot höja värdet på fastigheten och kan därmed bli en lönsam investering.

## 5.4 Effektreducering

Vid effektsänkning under årets kallaste vecka är en effektsänkning på 40 % möjlig för att samtidigt uppnå en termisk komfort. En effektsänkning gör att tilluftstemperaturen under en period kommer sjunka. Risken vid effektreducering är att den operativtemperaturen blir för låg, i detta arbete studeras en byggnad med en tung stomme. På grund av byggnadens termiska tröghet samt internvärmens behålls en god operativ temperatur.

Eftersom det är möjligt med en effektsänkning under den kallaste veckan på året borde även detta vara möjligt under andra perioder då elpriset är högt. Detta är även en åtgärd som är lätt att tillämpa eftersom det inte kräver installation av nya system utan programmering av det nuvarande. Med denna åtgärd kan man minska driftskostnaden för bergvärmepumpen med ca 1100 kr under en vecka. Dessutom är investeringskostnaden låg, vilket gör att åtgärden ses som lönsam. Å andra sidan är driftskostnaden för bergvärmepumpen låg vilket gör att andra åtgärder kanske bör prioriteras.

## 5.5 Solceller

Genom att investera i solceller kan man tillgodose en stor del av byggnadens energibehov. Dock matchas inte alltid solenergin med energibehovet, exempelvis krävs mer energi till bergvärmepumpen på vintern då lite solenergi produceras. I energibehovet ingår utöver elbehovet till bergvärmepumpen direktverkande el. Enligt beräkningar kan 40 % av den producerade solenergin användas direkt till el i byggnaden. Som presenterat i kapitel 4.5 Solceller. Enligt livscykelkostnadsberäkningar är investeringen lönsam samt har en kort avbetalningstid.

Som nämnt i teoridelen kan olika energistrategier tillämpas på en fastighet, vilket är relevant vad gäller en solcellsanläggning. Den strategi som tillämpas i LCC-analysen innebär att överskottet av producerad solenergi säljs och med vinsten köps sedan energi in. På så sätt kan intäkterna för den sålda energin användas för att köpa in ny när behovet är högt, vilket är ett sätt att minska driftskostnaden. En annan strategi som kan tillämpas är lagring i batterier. Genom batterilagring görs solenergi om till kemisk energi som kan hämtas och användas vid behov. I denna strategi blir målet att köpa så lite energi som möjligt snarare än att minska driftskostnaden. Oavsett vilken typ av energistrategi som tillämpas ses investering i solceller som en lämplig åtgärd. Eftersom man för en låg investeringskostnad kan sänka energikostnaden i en stor omfattning.

## 5.6 Batterilagring

Batterilagring av solenergi sänker behovet av köpt energi och kan därmed vara lönsamt. Dock är investeringen stor med en kort livslängd. Värt att notera är att det alltid är mer lönsamt att sälja hela överskottet från solcellerna efter andelen el som matchar elenergibehovet i byggnaden har använts. En ökning i lagringskapacitet ger en marginell minskning i behovet av köpt elenergi men medför stora investeringskostnader. Detta till följd att det är sällan det finns behov av så pass stor lagringskapacitet.

En mindre batterianläggning har fördelarna att solenergin kan användas även när det inte finns sol samt till att minska effekttoppar på morgonen och tidig kväll då många kommer hem efter skola och arbete. Till följd av den verksamhet som bedrivs i byggnaden är detta inte lika relevant då majoriteten av solenergi kommer att produceras när det finns elenergibehov i byggnaden.

Trots att installation av ett batterilager sänker driftskostnaden i byggnaden medför det en stor installationskostnad vilket gör att investeringen är ogynnsam. Detta visar sig i LCC beräkningarna. Även den korta livslängden gör att investeringen inte prioriteras. Det finns andra energilagringmetoder som eventuellt kan appliceras på en kontorsbyggnad, vilket vidare studier kan behandla.

## 5.7 Eventuella felkällor

I resultatet ser man att de olika byggnaderna har något lägre värmebehov än vad som kan förväntas. På grund av att resultaten är baserade på data från IDA ICE finns det anledning att säkerställa att resultaten stämmer. Då IDA-modellen ursprungligen bestod av stora zoner kan detta påverka resultatet. Med stora zoner blir värmebehovet ett medelvärde av ett stort rum där behovet varierar. För att utvärdera hur storleken av zonerna påverkar resultatet genomfördes en simulering med mindre zoner. Man fick då liknande värmebehov som tidigare och därmed anses resultatet trovärdigt.

I arbetet har elpriser från 2022 används. Till följd av att elpriserna steg mycket under 2022 kan detta anses vara en felkälla. Detta kan innebära stor påverkan av resultatet i arbetet. Det ansågs mer relevant att använda aktuella data för elpris för att ge ett resultat som speglar dagens utmaningar snarare än spekulativa framtida elpriser.

## 5.8 Ytterligare åtgärder som kan undersökas i andra arbeten

- Effekten av nattsänkning och nattkylning.
- Ett bättre tillämpat VAV-system.
- Investering i solcellsparkar för att sänka energikostnader.
- Investering i vindkraftpark.
- Tillämpning av annan energilagring exempelvis vätgas, svänghjul mm.
- Styrsystem enligt el spotpris eller dylikt.

## 6 Slutsats

I detta kapitel presenteras en pakettlösning för att minska byggnadens energianvändning samt kostnad.

I arbetet kommer man fram till ett första åtgärdspaket som innefattas av fyra åtgärder. Klimatskalet väljs till ett klimatskal enligt BBR standard eftersom detta ger bäst resultat ur ett energiperspektiv. De värme- och kylsystem som identifieras som lönsammast i detta arbete är en geoenergianläggning. Vidare ingår solavskärmning och installation av solceller i åtgärdspaketet. Den energistrategi som tillämpas är att solenergi används direkt när det är möjligt. Överskottet säljs och för vinsten köps energi vid behov in.

Med åtgärderna ovan minskar primärenergitalet från  $69,3 \text{ kWh/m}^2$  till  $20,6 \text{ kWh/m}^2$ . Åtgärderna har även en stor påverkan på driftskostnaden som minskar från 2 495 000 kr/år till 449 000 kr/år. Investeringarna har en pay-off tid på 14 år.

Utöver åtgärderna som presenteras i paketet kan ytterligare åtgärder tillämpas för att öka energieffektiviseringen. Nedan visas en lista över prioritering av olika åtgärder för att minska energikostnaden, från förbättring med högst prioritet till lägst.

### **Prioriteringslista över åtgärder:**

1. Förbättra klimatskal till BBR standard
2. Installera bergvärme och frikyla
3. Installera solceller
4. Sälja producerad solenergi
5. Solavskärmning
6. Effektsänkning
7. VAV-system
8. Batterilagring
9. återvinning av fjärrvärme
10. Förbättra klimatskal ytterligare till ett förbättrat klimatskal

## 7 Referenser

- A. Nordling, R. E. (2015). *Energilagring: Teknik för lagring av el*. Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA). Hämtat från [www.iva.se](http://www.iva.se)
- Abel, E., & Elmroth, A. (2008). *Byggnaden som system*. Forskningsrådet Formas.
- Abrahamsson, K., Persson, T., Nilsson, L., & Friberg, D. (2011). *Uppvärmning i Sverige 2011*. Eskilstuna: Energimarknadsinspektionen.
- Akademiska hus. (2021). *Klimat- och Energistrategi*. Hämtat från Akademiska hus: <https://www.akademiskahus.se/hallbarhet/energi/>
- Antonsson, T., & Phu, V. (2020). *Energiprestanda i höga kontorsbyggnader med vattenburet kylsystem*. Göteborg: Chalmers tekniska högskola.
- Arbetsmiljöverket . (2023). *Allmänventilation*. Hämtat från Arbetsmiljöverket: <https://www.av.se/inomhusmiljo/luft-och-ventilation/allmanventilation/>
- Bagger Toräng, A., & Rickhammar, O. (2020). *Batterilagring för ökad självkonsumtion från solceller: En studie om lönsamheten hos batterilagring i den svenska bostadssektorn*. Stockholm: Kunliga tekniska högskolan.
- Bengt Dahlgren & CIT. (2013). *Energi- och Miljöklassning av Byggnader i Sverige*. LÅGAN.
- Berrada, A., & Loudiyi, K. (2019). Chapter 4 - Gravity Energy Storage Applications. i A. Berrada, & K. Loudiyi, *Gravity Energy Storage* (ss. 75-103). Rabat: School of Renewable Energy, LERMA Université International de Rabat.
- BFS. (2011:6). *Boverkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna*. Boverket.
- BFS. (2017:6). *Boverkets föreskrifter om ändring av verkets föreskrifter och allmänna råd (2016:12) om fastställande av byggnadens energianvändning vid normalt brukande och ett normalår*; Boverket: Yvonne Svensson.
- Bodin, B. (2014). *Energisparande åtgärder för en villa från 1960-talet*. Hämtat från <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:723972/FULLTEXT01.pdf>
- Boverket. (2010). *Energi i bebyggelsen: Tekniska egenskaper och beräkningar*. Boverket.
- Boverket. (2020). *Klimatskärmens isolering – genomsnittlig värmeegenomgångskoefficient, Um*. Hämtat från Boverket: <https://www.boverket.se/sv/byggande/bygg-och-renovera-energieffektivt/energiushallningskrav/klimatskarm/>
- Boverket. (2021). *Om Boverkets byggregler, BBR*. Hämtat från Boverket: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/om-bbr/>
- Boverket. (2023). *Termiskt klimat*. Hämtat från Boverket: <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/sa-planeras-sverige/>
- Byggstart. (2023). *Vad kostar det att tilläggsisolera? Pris i 2023*. Hämtat från byggstart.se: <https://www.byggstart.se/pris/tillaggsisolera>
- Dahl, E. (2020). *Batterilagring och dess nytta i elnätet*. Umeå universitet. Hämtat från <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1393365/FULLTEXT01.pdf>

- Energikontor Syd. (u.å). *Nybyggnad av hus*. Hämtat från Energikontor Syd:  
<https://www.ekrs.se/nybyggnad>
- Energimarknadsbyrån. (2020). *Vad är fjärrvärme?* Hämtat från Konsumenternas Energimarknadsbyrån: <https://www.energimarknadsbyran.se/fjarrvarme/vad-ar-fjarrvarme/>
- Energimyndigheten . (2022). *Välj rätt värmepump*. Hämtat från Energimyndigheten:  
<https://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/husguiden---for-dig-som-vill-energieffektivisera-ditt/se-over-husets-uppvarmningssystem/valj-ratt-varmepump/#Fran>
- Energimyndigheten. (2022). *Koppla batterier till solcellerna*. Hämtat från Energimyndigheten:  
<https://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/batterier-kopplat-till-solceller/>
- Frost, S., & Lyckander, K. (2012). *Utvändig solavskärmning för glasade kontorsbyggnader*. Examensarbete, KTH. Hämtat från <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:550358/fulltext01.pdf>
- GreenMatch. (2023). *Hur fungerar en luftvärmepump?* Hämtat från greenmatch:  
<https://www.greenmatch.se/blogg/2019/03/hur-fungerar-en-luftvaermepump>
- Grundfos. (u.å.). *TPE 80-240/2 S-A-F-A-BQQE-LWB*. Hämtat från Grundfos-Webplats: <https://product-selection.grundfos.com/se/products/tp-tpe/tpe-series-2000-tpe3-1/tpe-80-2402-99114720?pumpsystemid=2079162457&tab=variant-sizing-results> den 14 April 2023
- Göteborg Energi. (2023b). *Fjärrvärmepriser 2023*. Hämtat från Göteborg energi:  
<https://www.goteborgenergi.se/foretag/fjarrvarme/fjarrvarmepriser>
- Göteborg Energi. (2023a). *Fjärrkylpriser 2023*. Hämtat från Göteborg energi:  
<https://www.goteborgenergi.se/foretag/fjarrkyla/fjarrkylapriser>
- H. Chen, T. N. (2009). Progress in electrical energy storage system: A critical review. *Progress in Natural Science*, 291-312.
- Hemming, S. (2023). *Vad kostar bergvärme*. Hämtat från greenmatch:  
<https://www.greenmatch.se/blogg/2016/03/vad-kostar-det-att-installera-bergvaerme>
- Hemsol. (u.å.). *Solcells batteri: så fungerar batterilagring för solceller*. Hämtat från Hemsol-webbplats.
- IEA. (2021). *National Survey Report of PV Power Applications in Sweden 2021*. IEA. Hämtat från <https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2022/10/National-Survey-Report-of-PV-Power-Applications-in-Sweden-2021.pdf>
- Jernkontoret. (u.å.). *Jernkontorets energihandbok*. Hämtat från Jernkontorets-webbplats: <https://www.energihandbok.se/formler-och-berakningar/livscykelkostnad> den 21 mars 2023
- Lengér, M., Leijonhufvud, G., & Tunefalk, M. (den 8 Juni 2020). Energieffektivisering och kulturhistoriska värden: Styrmedels långsiktiga påverkan på bebyggelsen. *bebyggelsehistorisk tidskrift*, ss. 64-77. Hämtat från Svenska dagbladet: näringsliv.

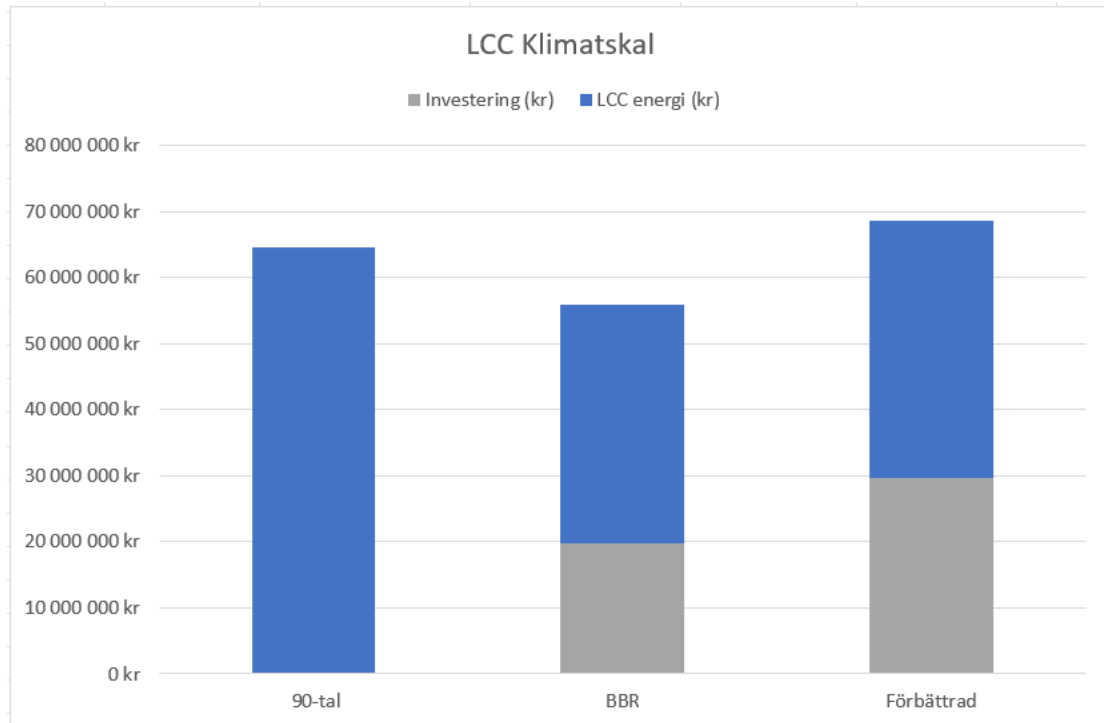
- Lucia, U., Simonetti, M., Chiesa, G., & Grisolia, G. (2010). Ground-source pump system for heating and cooling: Review and thermodynamic approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 867-874. doi:10.1016
- Muovitech. (u.å.). *Heat Transfer: Fluids Kilfrost GEO: Technical Data Sheet*. Hämtat från Kilfrost GEO: [https://www.muovitech.com/productdocs/EN\\_kilfrost\\_GEO\\_technical.pdf](https://www.muovitech.com/productdocs/EN_kilfrost_GEO_technical.pdf) den 14 April 2023
- Naturskyddsföreningen. (2021). *Hur fungerar solceller och solfångare?* Hämtat från Naturskyddsföreningen: <https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/hur-fungerar-solceller-och-solfangare/>
- NIBE. (u.å.). *Frikyla: kunskaps bank: ordlista NIBE*. Hämtat från NIBE: <https://www.nibe.eu/sv-se/kunskapsbank/ordlista/f/frikyla> den 28 03 2023
- NIBE. (u.åa). F1345. Hämtat från <https://www.nibe.eu/sv-se/produkter/varmepumpar/bergvarmepumpar/f1345> 2023
- Nordpool. (den 1 Januari 2023). stosek22. Stockholm, Sverige: Nordpool.
- Offentliga fastigheter. (2017). *Guide för geoenergi*. Offentliga fastigheter.
- Olthnäs, T. (2021). *Vad är FTX*. Hämtat från Swegon: <https://blog.swegon.com/sv/konsument/vad-%C3%A4r-ftx>
- Pilkington. (2021). *Glasfakta 2021*. Hämtat från Pilkington: [file:///C:/Users/Konto/Downloads/2003\\_Glasfakta2022\\_web\\_SE.pdf](file:///C:/Users/Konto/Downloads/2003_Glasfakta2022_web_SE.pdf)
- Planima. (u.å.). *Skapa åtgärder: Planima*. Hämtat från Planima: [https://app.planima.se/actions/new?plan\\_id=60732&redirect\\_to=%2Factions%2Flist%3Fend\\_year%3D2042%26plan\\_selection\\_list%25B%25D%3Dmaintenance\\_plan-60732%26start\\_year%3D2023](https://app.planima.se/actions/new?plan_id=60732&redirect_to=%2Factions%2Flist%3Fend_year%3D2042%26plan_selection_list%25B%25D%3Dmaintenance_plan-60732%26start_year%3D2023) den 18 April 2023
- Polarpumpen. (u.å.). *SEER och EER-värde för AC*. Hämtat från Polarpumpen: <https://www.polarpumpen.se/kunskapsbanken/ac-luftkonditionering-kunskapsbank/valja-ac/seer-och-eer/>
- Regner, H., & Stojanovic, S. (2022). Solcellsinvesteringars påverkan på fastighetsvärde. Hämtat från <https://mdh.diva-portal.org/smash/get/diva2:1674774/FULLTEXT01.pdf>
- Riksbanken. (2023). *Styrränta, in- och utlåningsränta*. Hämtat från Sveriges Riksbank: <https://www.riksbank.se/sv/statistik/sok-rantor--valutakurser/styrranta-in--och-utlaningsranta/>
- Rockwool. (u.å.). *Isolering av betongtak*. Hämtat från Rockwool: <https://www.rockwool.com/se/produkter-och-konstruktioner/takisolering/laglutande-tak/betongtak/>
- Sandell, O., & Olofsson, A. (2017). *Undersökning av lönsamhet för batterilagring i kommersiella fastigheter tillsammans med solceller: Förutsättningar för lönsamhet vid optimal drift och vid drift baserad på prognoser*. Uppsala: Uppsala univeristet.
- Sasic Kalagasidis, A. (2022). Kompendium för byggnadsfysik i kurserna BOM320 och BOM365.

- SGU. (u.å). *Bergvärme*. Hämtat från Sveriges Geologiska Undersökning:  
<https://www.sgu.se/samhallsplanering/energi/Geoenergi-geotermi-och-energilagring/bergvarme/> den 21 Februari 2023
- Shiltagh, R. (2015). *Mätsystem för operativ temperatur - test av hemtillverkade globtermometrar*. Lund: Lunds universitet.
- Skatteverket. (u.å.). *Skatt på el*. Hämtat från Skatteverket:  
<https://skatteverket.se/foretag/skatterochavdrag/punktskatter/energiskatter/skattpael.4.15532c7b1442f256bae5e4c.html> den 9 Maj 2023
- Statistikmyndigheten. (u.d.). *Prisomräknaren*. Hämtat från Statistikmyndigheten:  
<https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/prisomraknaren/>
- Sveby. (2010). *Brukarindata för energiberäkningar i kontor - vägledning*. Stockholm: Sveby.
- Svensk Ventilation. (2003). *Bra Ventilation*. Hämtat från  
<https://www.svenskventila.cdn.triggerfish.cloud/uploads/2003/12/Bra-Ventilation-Slutrapport-dec-03.pdf>
- Sweden Green Building Council. (2022). *Miljöbyggnad 4.0*. Hämtat från Sweden Green Building Council:  
<https://www.sgbc.se/certifiering/miljobyggnad/anvandarstod-for-miljobyggnad/manualer-och-verktyg-for-certifiering-i-miljobyggnad/>
- Sweden Green Building Council. (2022). *Vad är Miljöbyggnad?* Hämtat från Sweden Green Building Council: <https://www.sgbc.se/certifiering/miljobyggnad/vad-ar-miljobyggnad/>
- Sweden Green Building Council. (2023). *Vad är LEED?* Hämtat från Sweden Green Building Council: <https://www.sgbc.se/certifiering/leed/vad-ar-leed/>
- Thygeson, R. (2021). *Genomgång av system förstyrning och reglering av byggnaders tekniska system*. BeBo.
- Tighnavard, B. (2022). *Hur man räknar ut lönsamheten i en solcellsanläggning*. Hämtat från OKTOVO: <https://www.otovo.se/blog/solpaneler-solceller/hur-raknar-jag-ut-lonsamheten-i-en-solcellsanlaggning-2-2/>
- Uddin, M., & al, e. (2017). A review on peak load shaving strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 3323-3332.
- Upphandlings myndigheten. (u.d.). *LCC för långsiktigt hållbara inköp*. Hämtat från Upphandlings myndigheten : [upphandlingsmyndigheten](https://www.upphandlingsmyndigheten.se/)
- Upphandlingsmyndigheten. (u.å.). *Olika typer av investeringskalkyler*. Hämtat från upphandlingsmyndigheten: <https://www.upphandlingsmyndigheten.se/om-hallbar-upphandling/ekonomiskt-hallbar-upphandling/lcc-for-langsiktigt-hallbara-inkop/olika-typer-av-investeringskalkyler/>
- USGBC. (u.å). *LEED rating system*. Hämtat från USGBC:  
<https://www.usgbc.org/leed>
- Vasakronan. (2022). *Hur kan vi bli mer el-effektiva?* Hämtat från Vasakronan:  
<https://vasakronan.se/kunskapsrum/bli-eleffektiv/>
- Warfvinge, C., & Dahlblom, M. (2021). *Projektering av VVS-installationer*. Lund: Studentlitteratur.

- Westerberg, E. (2017). *Sänkt energiförbrukning med byte av energisystem eller energieffektivisering*. MITTUNIVERSITETET. Hämtat från <http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:1115749/FULLTEXT01.pdf>
- Wetterbrandt, E. (2017). *Luftburen värme, termisk komfort och energianvändning. Jämförelse av värmesystem för ett flerbostadshus*. . Stockholm: Kungliga tekniska högskolan,.
- Östlund, M. (2021). *Minimikrav på luftväxling*. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst.

## 8 Bilagor

### 8.1 Bilaga 1 - LCC för olika klimatskal med en livslängd på 50 år.



## 8.2 Bilaga 2 - Fjärrvärmekalkyl för 90-tals hus

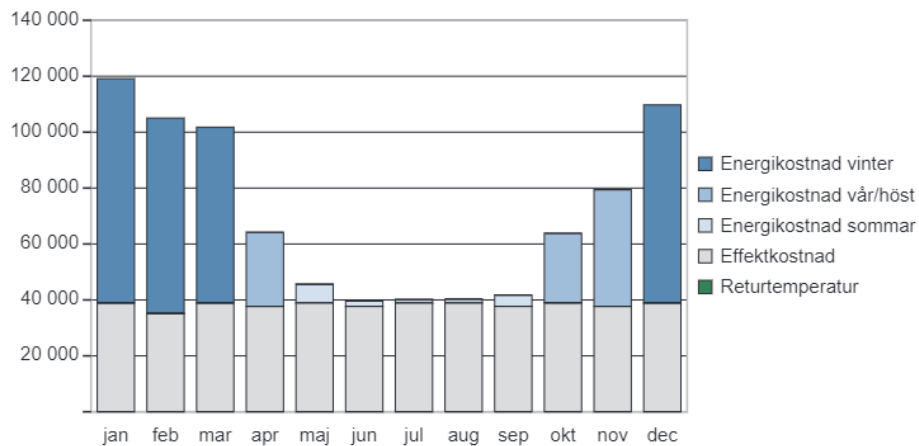
### Rapport fjärrvärmekalkyl



Prisgrundande medeleffekt	560 kW
Effektkostnad	458 550 kr
Energikostnad	391 886 kr
Returtemperatur	0 kr
<b>Årskostnad</b>	<b>850 436 kr</b>
Pris/kWh	94 öre
Pris/MWh	945 kr

Beräknat för	
Verksamhet	Lokal
Typ av hus	Befintlig byggnad
Förbrukning	900 MWh
Medeleffekt	560 kW
Returtemperatur	0 grader

#### Kostnadsfördelning



#### Årsöversikt - månad för månad (priser i kr)

	Energikostnad	Effektkostnad	Returtemperatur	Totalkostnad	Förbrukning (MWh)
jan	80 182	38 945	0	119 127	154
feb	69 866	35 176	0	105 043	134
mar	62 833	38 945	0	101 778	121
apr	26 494	37 689	0	64 183	74
maj	6 642	38 945	0	45 587	41
jun	1 890	37 689	0	39 579	19
jul	1 170	38 945	0	40 115	12
aug	1 350	38 945	0	40 295	14
sep	4 046	37 689	0	41 735	28
okt	24 879	38 945	0	63 824	69
nov	41 731	37 689	0	79 420	101
dec	70 804	38 945	0	109 749	136
<b>Totalt</b>	<b>391 886</b>	<b>458 550</b>	<b>0</b>	<b>850 436</b>	<b>901</b>

## 8.3 Bilaga 3 - Fjärrvärmekalkyl BBR hus

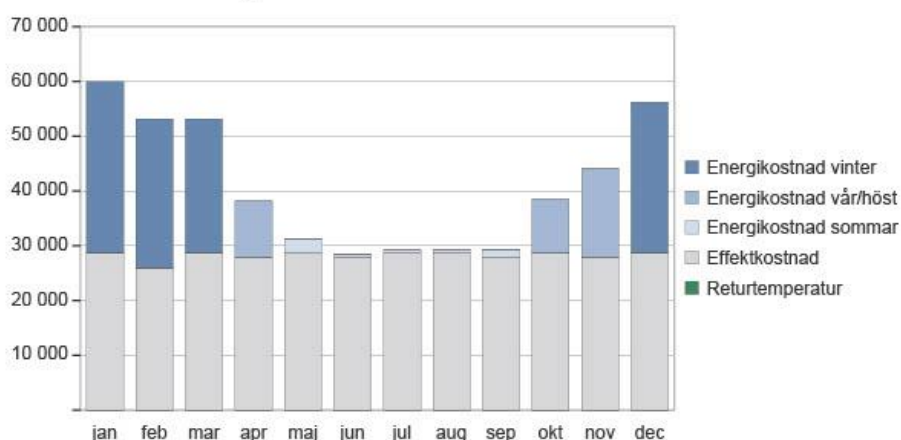
### Rapport fjärrvärmekalkyl



Prisgrundande medeleffekt	400 kW
Effektkostnad	338 090 kr
Energikostnad	152 400 kr
Returtemperatur	0 kr
<b>Årskostnad</b>	<b>490 490 kr</b>
Pris/kWh	140 öre
Pris/MWh	1401 kr

Beräknat för	
Verksamhet	Lokal
Typ av hus	Befintlig byggnad
Förbrukning	350 MWh
Medeleffekt	400 kW
Returtemperatur	0 grader

#### Kostnadsfördelning



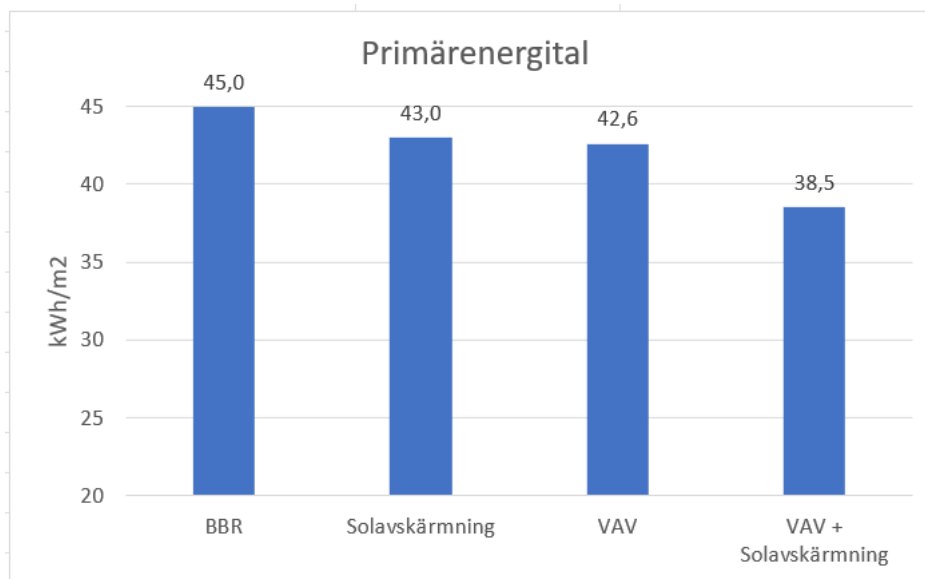
#### Årsöversikt - månad för månad (priser i kr)

	Energikostnad	Effektkostnad	Returtemperatur	Totalkostnad	Förbrukning (MWh)
jan	31 182	28 714	0	59 896	60
feb	27 170	25 936	0	53 106	52
mar	24 435	28 714	0	53 149	47
apr	10 303	27 788	0	38 092	29
maj	2 583	28 714	0	31 297	16
jun	735	27 788	0	28 523	7
jul	455	28 714	0	29 169	5
aug	525	28 714	0	29 239	5
sep	1 573	27 788	0	29 361	11
okt	9 675	28 714	0	38 390	27
nov	16 229	27 788	0	44 017	39
dec	27 535	28 714	0	56 249	53
<b>Totalt</b>	<b>152 400</b>	<b>338 090</b>	<b>0</b>	<b>490 490</b>	<b>350</b>

## 8.4 Bilaga 4 - Produktion från solceller

	Areor (m2)	Faktor	Antal solpaneler	Verkningsgrad	Instalerad effekt [kWp]	
Tak	2700	0,75	1080	0,18	432000	
Tak 45söder	1620	1	810	0,18	324000	
Solinstrålning [kWh/m2]		997				Elproduktion, 0 tak [kWh/år]
Soltimmar [h]		1000				261653
Effektförlust		0,9				Elproduktion, 45 söder tak [kWh/år]
Minskad effekt		0,9				261653
Investeringskostnad						
	9380 kr/kW					
	2 476 320 kr					

## 8.5 Bilaga 5 - Primärenergital för olika åtgärder



INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK  
AVDELNINGEN FÖR INSTALLATIONSTEKNIK  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2023  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**